孙克军　主　编
杨春稳　副主编

交流异步电动机修理速成

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

07

交流异步电动机修理速成

主　编　孙克军
副主编　杨春稳
参　编　冯莉岚　孙丽君
　　严晓斌

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

全书共11章，内容包括：电工基础知识、异步电动机的基础知识、异步电动机的基本结构与工作原理、异步电动机的绕组、异步电动机的使用与维修、电动机的拆装及绕组的拆除、线圈的绕制、绕组的嵌线工艺、绕组的浸漆与烘干、电动机的检查与试验、异步电动机绕组改绕的简易计算等。

本书密切结合生产实际，图文并茂、深入浅出、通俗易懂、实用性强，易于迅速掌握和运用是本书的突出特点。

本书可供从事电机使用、维护及修理的技术人员学习和使用，可作为电机修理工的培训教材，也可作为高、中等职业院校有关专业师生的教学参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

交流异步电动机修理速成/孙克军主编.—北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7-5083-2349-1

Ⅰ.交… Ⅱ.孙… Ⅲ.异步电动机-维修

Ⅳ.TM343.07

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第044849号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn）

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年10月第一版 2004年10月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 8.75印张 229千字

印数 0001—4000册 定价 15.00元

版权专有 翻印必究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

前言

异步电动机使用、维护与修理是工农业生产中经常遇到的实际问题。为了普及异步电动机使用与维护的基本知识、提高修理质量，特编写了本书，以满足广大从事电机使用、维护与修理的技术人员的需要。

本书在编写过程中以通俗易懂的实际操作为主、理论讲解为辅，从电机修理的实际情况出发，力求突出简明实用、通俗易懂、便于自学、易于迅速掌握和运用的特点。本书采用了大量的图表，文字简练，可操作性强。

本书由孙克军主编，杨春稳为副主编。第1、6章由冯莉岚编写，第2、3章由严晓斌编写，第4、8、11章由孙克军编写，第5、9章由杨春稳编写，第7、10章由孙丽君编写。编者对关心本书出版、热心提出建议和提供资料的单位和个人在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中难免有缺点和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编　者

2004年3月

目 录

前言

第1章 电工基础知识 …… 1

第1节 交流电的基础知识 …… 1
第2节 电磁感应定律 …… 9

第2章 异步电动机的基础知识 …… 11

第1节 异步电动机的分类 …… 11
第2节 异步电动机的型号 …… 13
第3节 异步电动机的铭牌 …… 16

第3章 异步电动机的基本结构与工作原理 …… 23

第1节 三相异步电动机的基本结构与工作原理 …… 23
第2节 单相异步电动机的基本结构与工作原理 …… 34

第4章 异步电动机的绕组 …… 41

第1节 异步电动机绕组常用名词术语 …… 41
第2节 三相异步电动机的绕组 …… 44
第3节 单相异步电动机的绕组 …… 55

第5章 异步电动机的使用与维修 …… 63

第1节 异步电动机的使用 …… 63
第2节 异步电动机的常见故障及其排除方法 …… 70
第3节 异步电动机定子绕组常见故障的检修 …… 75
第4节 异步电动机转子绕组常见故障的检修 …… 85

第 5 节　单相异步电动机常见故障的检修 …… 87

第6章　电动机的拆装及绕组的拆除 …… 90

第 1 节　异步电动机的拆卸与装配 …… 90
第 2 节　异步电动机绕组的拆除 …… 99

第7章　线圈的绕制 …… 105

第 1 节　测量电磁线常用量具 …… 105
第 2 节　线圈绕制的技术要求 …… 107
第 3 节　绕线模 …… 108
第 4 节　线圈的绕制 …… 113

第8章　绕组的嵌线工艺 …… 116

第 1 节　常用嵌线工具 …… 116
第 2 节　嵌线的技术要求 …… 117
第 3 节　嵌线前的准备工作 …… 118
第 4 节　配置绝缘 …… 119
第 5 节　嵌线的一般过程及操作方法 …… 125
第 6 节　单层链式绕组的嵌线工艺 …… 132
第 7 节　单层交叉式绕组的嵌线工艺 …… 133
第 8 节　单层同心式绕组的嵌线工艺 …… 135
第 9 节　单层绕组穿线、嵌线工艺 …… 137
第 10 节　双层叠绕组的嵌线工艺 …… 145
第 11 节　单双层混合绕组的嵌线工艺 …… 146
第 12 节　三相绕组的连接 …… 147
第 13 节　单绕组变极多速三相异步电动机嵌线工艺与接线方法 …… 151

第9章　绕组的浸漆与烘干 …… 168

第 1 节　绕组浸漆的目的与基本要求 …… 168
第 2 节　浸漆处理常用的绝缘漆 …… 168
第 3 节　浸漆处理工艺 …… 172

第 10 章　电动机的检查与试验 …… 182

第 1 节　电机检测常用仪表及器具 …… 182
第 2 节　线圈的检查 …… 193
第 3 节　嵌线后绕组的检查与试验 …… 194
第 4 节　装配后电动机的检查与试验 …… 199

第 11 章　异步电动机绕组改绕的简易计算 …… 205

第 1 节　电磁线代用 …… 205
第 2 节　改变笼型三相异步电动机的极数 …… 209
第 3 节　改变笼型三相异步电动机的电压 …… 214
第 4 节　改变笼型三相异步电动机的频率 …… 219

附录 …… 226

附录 A　常用导电材料 …… 226
附录 B　常用绝缘材料 …… 230
附录 C　常用辅助材料 …… 236
附录 D　常用异步电动机技术数据 …… 238

参考文献 …… 271

第1章 电工基础知识

第1节 交流电的基础知识

大小和方向随时间作周期性变化，而在一个周期内平均值等于零的电动势、电压、电流分别称为交变电动势、交变电压和交变电流，统称交流电。在交流电作用下的电路称为交流电路。

一、单相正弦交流电

发电厂发出的交流电均是按正弦规律变化的正弦交流电。如果用横坐标表示时间，纵坐标表示电流，则电流随时间的变化规律，可用图1-1来表示，通常把图中的曲线称为波形。

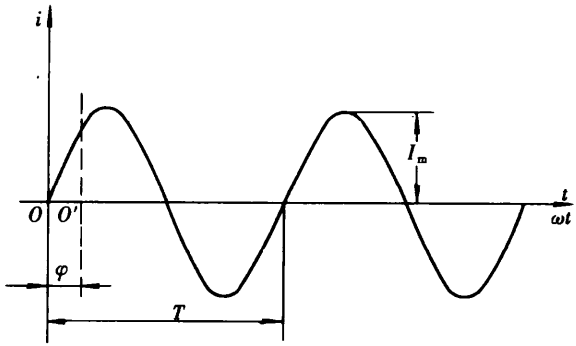


图1-1 正弦交流电流的变化曲线

在图1-1中，一般把横坐标定为 ωt（相当于弧度），而并不是时间 t，两者的差别仅在于一个比例常数。如果用 ωt 作为横坐标，则一个周期相当于 2π。

从图1-1中，我们可以看到正弦量有它的特征，这种特征

表现在正弦量的大小、变动的快慢及初始值三个方面，而它们可由振幅（或最大值）、频率（或角频率）和初相位（或初相角）来确定。因此把振幅、频率和初相位称为正弦量的三要素。它们是正弦量之间相互区别的依据。正弦交流电路中常用物理量及其计算公式见表 1－1。

表 1－1　　交流电路常用物理量及其计算公式

名称	定　　义	公　　式	备　　注
周期	交流电完成一次周期性变化所需的时间称为周期，用英文字母 T 表示	$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	T— 周期，单位为秒(s) f— 频率，单位为赫兹，简称赫(Hz) ω— 角频率，单位为弧度／秒(rad/s)
频率	单位时间(1s)内交电流变化所完成的循环（或周期）称为频率，用英文字母 f 表示	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	
角频率	角频率相当于一种角速度，它表示了交流电每秒变化的弧度数，角频率用希腊字母 ω 表示	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	
瞬时值	正弦交流电的数值是在不断地变化的，在任一瞬间的数值就称为瞬时值，一般用小写字母表示	$i = I_{max}\sin(\omega t + \varphi)$ $u = U_{max}\sin(\omega t + \varphi)$ $e = E_{max}\sin(\omega t + \varphi)$	i— 电流瞬时值，单位为安(A) u— 电压瞬时值，单位为伏(V) e— 电动势瞬时值，单位为伏(V) I_{max}— 电流最大值(A) U_{max}— 电压最大值(V) E_{max}— 电动势最大值(V) I— 电流有效值(A) U— 电压有效值(V) E— 电动势有效值(V) ω— 角频率，单位为弧度／秒(rad/s) t— 时间，单位为秒(s) φ— 初相位或初相角，简称初相，单位为弧度(rad)，在电工学中，用度(°)作为相位的单位，1rad = 57.2958°
最大值	在正弦交流电的瞬时值中的最大值(或振幅)称为正弦交流电的最大值或振幅值，用大写字母并在右下角注 max 表示	$I_{max} = \sqrt{2}I = 1.414I$ $U_{max} = \sqrt{2}U = 1.414U$ $E_{max} = \sqrt{2}E = 1.414E$	
有效值	在两个相同的电阻器中，分别通以直流电和交流电。经过同一时间，如果它们在电阻器上所产生的热量相等，那么就把此直流电的大小定为此交流电的有效值。正弦交流电的有效值等于它的最大值的 0.707 倍。有效值用大写字母表示	$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707I_{max}$ $U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707U_{max}$ $E = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707E_{max}$	

正弦量是连续变化的，一般说来没有肯定的起点或终点。但是，有时为了便于说明问题，选择一个计算时间的起点是很必要的。在图 1－1 中表示了一个最大值为 I_m，角频率为 ω 的正弦电流。如果选择正弦电流通过零值向正方向增加的瞬间作为时间的起点，如图 1－1 中的 O 点，这时初相位为零，即 $\varphi = 0$，则

$$i = I_m \sin \omega t$$

这种初相位为零的正弦量有时称为参考正弦量。对同一正弦电流 i，如果选择另一时间 O' 为起点，则

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

这时初相位为 φ。

在多数情况下，选择时间的起点是有任意性的。但是对同一问题，只能有一个共同的计算时间的起点。所以如果同一问题中有很多正弦量时，只要其中之一选作参考正弦量而其初相位为零，其余正弦量的初相位也就确定了。

二、三相交流电

目前，世界上电力系统所采用的供电方式，绝大多数是属于三相制。所谓三相制，就是由三个频率相同而相位不同的电动势作为电源供电的体系。

如果三相电动势的振幅（最大值）、波形、频率均相同，而在相位上彼此相差 1/3 周期，即彼此间的初相位相差 2π/3 弧度（120°），则称为对称三相电动势。对称三相电动势的波形如图 1－2所示。

在图 1－2 中，A 相电动势 e_A 的初相位为零（$\varphi = 0$），B 相电动势 e_B 的初相位为 2π/3 弧度（120°），C 相电动势 e_C 的初相位为 4π/3 弧度（240°）。如果以 e_A 作为参考正弦量，则三相电动势可表示为

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 120°)$$

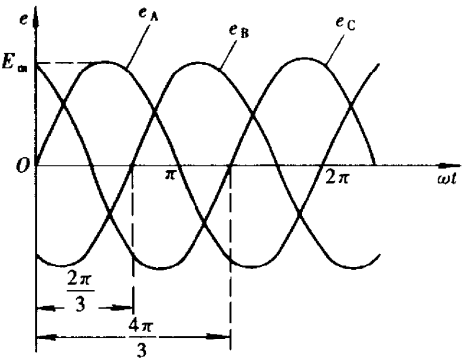


图 1－2　对称三相电动势的波形图

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t - 240°)$$

三相电动势（或电压）达到最大值（或零值）的先后次序称为三相电动势（或电压）的相序。若把最大值按 A－B－C 次序出现称为正序或顺相序，那么最大值按 C－B－A 次序出现就称为负序或逆相序。

三、星形连接和三角形连接

三相交流电路中，电源和负载有两种基本的连接方式，即星形连接和三角形连接。

1. 星形连接（Y 连接）

在三相交流发电机中，有三相绕组。三相绕组的始端（又称首端）分别用 A、B、C 表示；三相绕组的末端又称尾端）分别用 X、Y、Z 表示。如果把三相交流发电机的三相绕组的末端 X、Y、Z 接在一起（这一点标为 N），把始端 A、B、C 引出来，如图 1－3 左边所示，就得到三相电源的星形连接方式，简称为星形电源。在负载方面，对称三相负载，如三相交流电动机、三相变压器等，它们也有三相绕组，如果也作星形连接，如图 1－3 右边所示，就得到星形负载。通常，把连接电源和负载各相的端点 A 和 A′、B 和 B′、C 和 C′的导线，称为端线（或称相线，俗称火线）。三相电源中三相绕组末端的连接点 N，称为三相电源

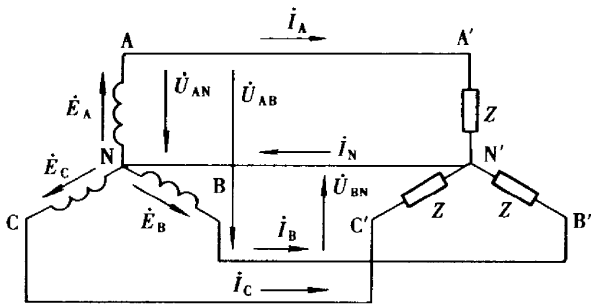


图 1－3　三相电源和负载的星形连接

的中点或中性点。三相负载星形连接点 N′，称为星形负载的中点或中性点。连接电源中点和负载中点的导线 NN′，称为中线（俗称零线）。这样，具有三根端线又有一根中线的三相电路，称为三相四线制；如果不接中线，只有三根端线，则称为三相三线制。

2. 三角形连接（△连接）

如果把三相电源中三相绕组的始、末端顺次相接，即 X 与 B、Y 与 C、Z 与 A 相接，再从各连接点引出端线来，如图 1－4 左边所示，就得到三相电源的三角形连接方式，简称三角形电源。负载方面也可以作三角形连接，如图 1－4 右边所示。二者用导线连起来，就组成了三相交流电路。

三相交流电路中常用物理量及其计算公式，见表 1－2。

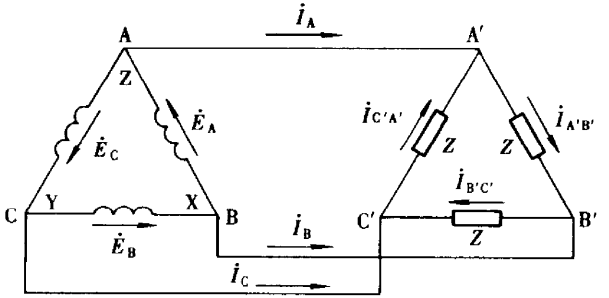
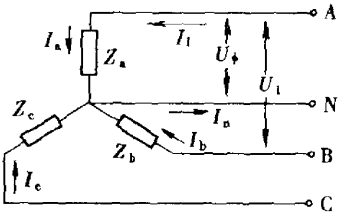
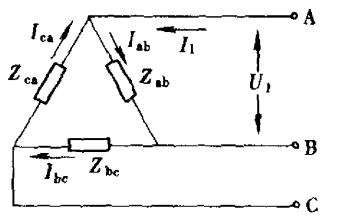


图 1－4　三相电源和负载的三角形连接

表 1－2　　三相交流电路中常用物理量及其计算公式

名称	定　义	公　式	备　注
相电压	三相交流电路中，三相输电线（相线）与中性线之间的电压称为相电压，用符号 U_ϕ 表示	三相交流电路负载的星形连接（Y）  $U_l = \sqrt{3}U_\phi$ $I_l = I_\phi$	U_l—线电压，单位为伏（V） U_ϕ—相电压，单位为伏（V） I_l—线电流，单位为安（A） I_ϕ—相电流，单位为安（A）
相电流	三相交流电路中，每相负载中流过的电流称为相电流，用符号 I_ϕ 表示		
线电压	三相交流电路中，三相输电线（相线）各线之间的电压称为线电压，用符号 U_l 表示	三相交流电路负载的三角形连接（△）  $U_l = U_\phi$ $I_l = \sqrt{3}I_\phi$	U_l—线电压，单位为伏（V） U_ϕ—相电压，单位为伏（V） I_l—线电流，单位为安（A） I_ϕ—相电流，单位为安（A）
线电流	三相交流电路中，三相输电线（相线）各线中流过的电流称为线电流，用符号 I_l 表示		

续表

名称	定　义	公　式	备　注
视在功率	在具有电阻和电抗的交流电路中，电压有效值与电流有效值的乘积称为视在功率，用英文字母S表示，单位为伏安（VA）	单相交流电路 $S = UI$ 对称三相交流电路 $S = 3U_\phi I_\phi = \sqrt{3}U_l I_l$	U_l—电压有效值，单位为伏（V） I—电流有效值，单位为安（A） U_ϕ—相电压，单位为伏（V） I_ϕ—相电流，单位为安（A） U_l—线电压，单位为伏（V） I_l—线电流，单位为安（A） φ—相电压与相电流的相位差 $\cos\varphi$—功率因数 S—视在功率，单位为伏安（VA） P—有功功率，单位为瓦（W） Q—无功功率，单位为乏（var）
有功功率	在交流电路中，交流电的瞬时功率不是一个恒定值，瞬时功率在一个周期内的平均值称为有功功率。它是指交流电路中电阻部分所消耗的功率，用英文字母P表示，单位为瓦（W）	单相交流电路 $P = UI\cos\varphi$ 对称三相交流电路 $P = 3U_\phi I_\phi \cos\varphi = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi$	

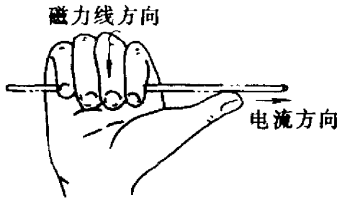
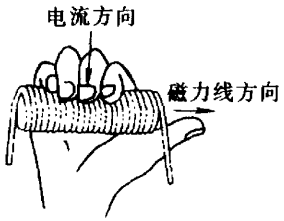
续表

名称	定义	公式	备注
无功功率	在具有电感（或电容）的交流电路中，电感（或电容）在半个周期的时间内把电源的能量变成磁场（或电场）的能量储存起来，在另外半个周期的时间里又把储存的磁场（或电场）能量送回给电源。它们只是与电源进行能量交换，并没有真正消耗能量，故此功率称为无功功率，用英文字母 Q 表示，单位为乏（var）。无功功率在数值上等于电压有效值和电流有效值与电压和电流的相位差 φ 的正弦的乘积	单相交流电路 $Q = UI\sin\varphi$ 对称三相交流电路 $Q = 3U_{\phi}I_{\phi}\sin\varphi = \sqrt{3}U_{l}I_{l}\sin\varphi$	U—电压有效值，单位为伏（V） I—电流有效值，单位为安（A） U_{ϕ}—相电压，单位为伏（V） I_{ϕ}—相电流，单位为安（A） U_{l}—线电压，单位为伏（V） I_{l}—线电流，单位为安（A） φ—相电压与相电流的相位差 $\cos\varphi$—功率因数 S—视在功率，单位为伏安（VA） P—有功功率，单位为瓦（W） Q—无功功率，单位为乏（var）
功率因数	交流电路中电压有效值与电流有效值的乘积为视在功率，而真正起到作功的一部分功率（即有功功率）将小于视在功率。有功功率与视在功率之比称为功率因数，用 $\cos\varphi$ 表示。功率因数只与电路的参数（电阻、感抗、容抗）和频率有关，与电压、电流的大小无关	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	

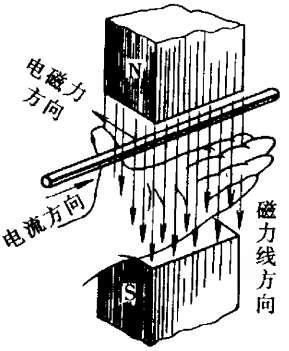
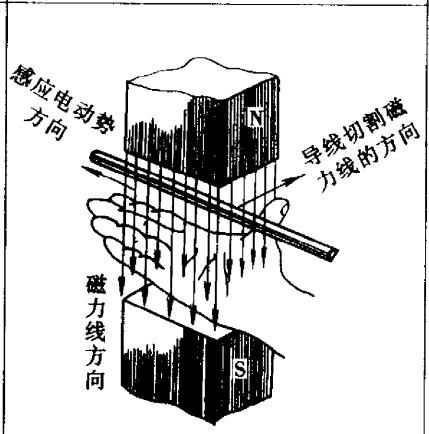
第2节　电磁感应定律

为了更好地理解电动机的工作原理，应了解一些必要的基础知识，如通电导体和通电线圈产生的磁场、载流导体在磁场中的受力现象、在磁场中运动导体的感应电动势等。上述各物理现象中，各物理量（如磁场、电磁力、感应电动势等）的方向，可分别用直线导体右手螺旋定则（法则）、螺旋线圈右手螺旋定则、左手定则、右手定则等进行判定，详见表1-3。

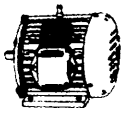
表1-3　　电磁感应定律

名　称	定　义	内　容	备　注
直线导体右手螺旋定则	当电流流过直线导体时，导体的周围会产生磁场。直线导体右手螺旋定则是确定通电直线导体产生的磁场方向的规则		用右手握住导线，使拇指指向电流方向，则其余四指所指的方向就是磁力线（磁场）的方向
螺旋线圈右手螺旋定则	当电流流过螺旋线圈时，线圈内会产生磁场。螺旋线圈右手定则是确定通电螺旋线圈内部产生的磁场方向的规则		用右手握住线圈，使四指指向电流方向，则拇指所指的方向就是磁力线（磁场）的方向

续表

名　称	定　义	内　容	备　注
左手定则	左手定则又称电动机左手定则。它是确定载流导体在磁场中受力时，磁场方向、电流方向和载流导体受力方向三者之间关系的规则		平伸左手掌，使拇指与其他四指垂直，将掌心对着磁场的北极（N极），即让磁力线从手心垂直穿过，使四指指向电流的方向，那么拇指所指的方向就是导体所受电磁力的方向
右手定则	右手定则又称发电机右手定则。它是表示磁场方向、导体运动方向和感应电动势方向三者之间关系的规则		平伸右手掌，使拇指与其他四指垂直，将掌心对着磁场的北极（N极），即让磁力线从手心垂直穿过，使拇指指向导体运动的方向，那么四指的指向就是导体内感应电动势的方向

异步电动机的基础知识



第1节　异步电动机的分类

异步电动机是一种将电能转变为机械能的能量转换机械，又称感应电动机。

异步电动机按其相数可分为三相异步电动机和单相异步电动机两大类。

一、三相异步电动机的分类

为了适应各种机械设备的配套要求，异步电动机的系列、品种、规格繁多，其分类方法也很多。三相异步电动机的主要分类见表2－1。

表2－1　　三相异步电动机分类表

序　号	分类因素	主　要　类　别
1	输入电压	(1) 低压电机（3000V以下） (2) 高压电机（3000V以上）
2	轴中心高等级	(1) 微型电机（＜80mm） (2) 小型电机（80～315mm） (3) 中型电机（355～560mm） (4) 大型电机（≥630mm）
3	转子绕组型式	(1) 笼型转子电机 (2) 绕线转子电机
4	使用时的安装方式	(1) 卧式 (2) 立式

续表

序　号	分类因素	主　要　类　别
5	使用环境 （防护功能）	（1）封闭式 （2）开启式 （3）防爆型 （4）化工防腐型 （5）防湿热型 （6）防盐雾型 （7）防震型
6	用　途	（1）普通型 （2）冶金及起重用 （3）井用（潜油或水） （4）矿山用 （5）化工用 （6）电梯用 （7）需隔爆的场合用 （8）附加制动器型 （9）可变速型 （10）高起动转矩型 （11）高转差率型

二、单相异步电动机的分类

单相异步电动机的分类方法很多。通常，主要按其起动方式分类。

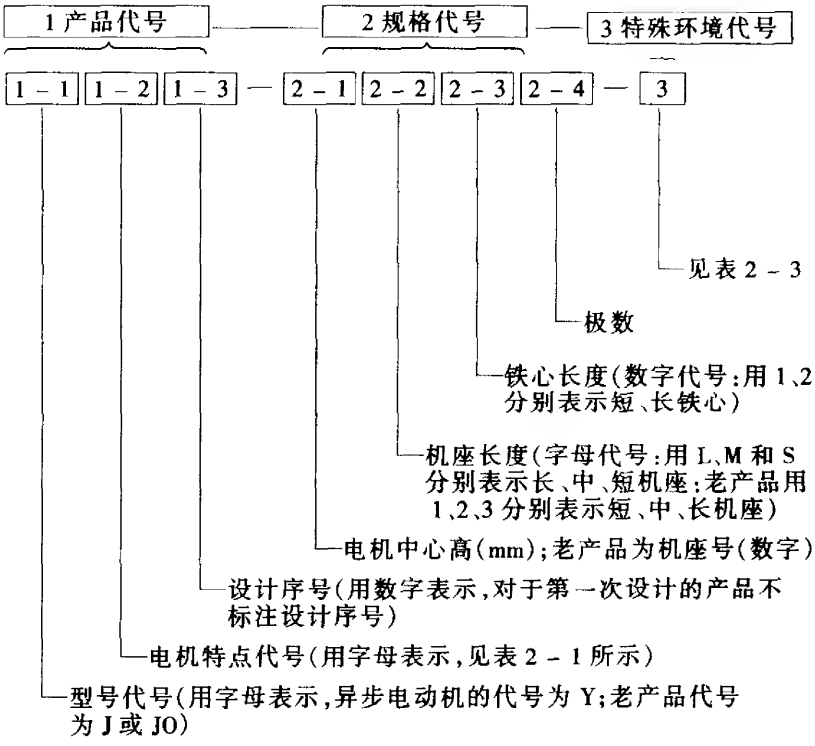
单相异步电动机按起动方式可分为分相起动和罩极起动两大类。其具体细分如下：

- 单相异步电动机
  - 分相式
    - 电阻分相起动异步电动机
    - 电容分相起动异步电动机
    - 电容运转异步电动机
    - 电容起动与运转异步电动机
    - （又称双值电容异步电动机）
  - 罩极式
    - 凸极式罩极异步电动机
    - 隐极式罩极异步电动机

第2节　异步电动机的型号

一、三相异步电动机的型号

国产三相异步电动机的型号一律采用大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字来表示。三相异步电动机的型号一般由三部分组成，排列顺序及含义如下：



注：大型异步电动机的规格代号由功率（kW）—极数/定子铁心外径（mm）三个小节组成。

常用异步电动机的特点代号见表2-2，特殊环境代号见表2-3。

表 2-2　　常用异步电动机的特点代号

特点代号	汉字意义	产品名称	新产品代号	老产品代号
—	—	笼型异步电动机	Y	J、JO、JS
R	绕	绕线转子异步电动机	YR	JR、JRZ

续表

特点代号	汉字意义	产品名称	新产品代号	老产品代号
K	快	高速异步电动机	YK	JK
RK	绕快	绕线转子高速异步电动机	YRK	JRK
Q	起	高起动转矩异步电动机	YQ	JQ
H	滑	高转差率（滑差）异步电动机	YH	JH、JHO
D	多	多速异步电动机	YD	JD JDO
L	立	立式笼型异步电动机	YL	JLL
RL	绕立	立式绕线转子异步电动机	YRL	—
J	精	精密机床用异步电动机	YJ	JJO
Z	重	起重冶金用笼型异步电动机	YZ	JZ
ZR	重绕	起重冶金用绕线转子异步电动机	JZR	JZR
M	木	木工用异步电动机	YM	JMO

表 2-3　　特殊环境代号

特殊环境条件	代号	特殊环境条件	代号
高原用	G	热带用	T
船用	H	湿热带用	TH
户外用	W	干热带用	TA
化工防腐用	F		

三相异步电动机的型号示例：

Y-100L2-4——表示三相异步电动机，中心高为 100mm、长机座、2 号铁心长、4 极。

Y2-132S-6——表示三相异步电动机，第二次系列设计、中心高为 132mm、短机座、6 极。

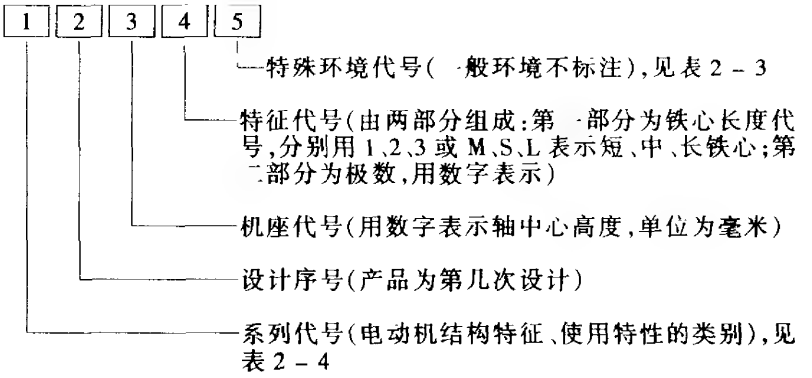
YZR630-10/1180——表示大型起重冶金用绕线型异步电动机，功率为 630kW、10 极、定子铁心外径为 1180mm。

J2-61-2——表示防护式三相异步电动机，第二次系列设计、6 号机座、1 号铁心长、2 极。

JO2-32-4——表示封闭式三相异步电动机，第二次系列设计、3 号机座、2 号铁心长、4 极。

二、单相异步电动机的型号

单相异步电动机的型号由系列代号、设计序号、机座代号、特征代号及特殊环境代号组成，其含义如下：



单相异步电动机产品名称、新老代号对照见表2-4。

表2-4　　单相异步电动机产品名称、新老代号对照表

序号	产品名称	新产品代号	新代号意义	老产品代号
1	电阻起动单相异步电动机	YU	异　阻	BO、JZ
2	电容起动单相异步电动机	YC	异　容	CO、JY、JDY
3	电容运转单相异步电动机	YY	异　运	DO、JX
4	电容起动与运转单相异步电动机	YL	异　双	
5	罩极单相异步电动机	YJ	异　极	
6	电容起动单相异步电动机（高效率）	YCX	异容效	
7	电容运转单相异步电动机（高效率）	YYX	异运效	
8	力矩单相异步电动机	YDJ	异单矩	DJ
9	低振动精密机床用单相异步电动机	YZM	异振密	DM、DOM
10	机床用单相电泵	YDB	异单泵	
11	仪用轴流单相异步电动机	YIF	异仪风	JF
12	双轴伸风调器用单相异步电动机	YSK	异双空	KFD
13	电容运转风扇单相异步电动机	YSY	异扇运	
14	电容运转转页扇单相异步电动机	YSZ	异扇页	
15	罩板风扇单相电动机	YZF	异罩风	
16	电容运转内转子吊扇单相电动机	YDN	异吊内	
17	电容运转外转子吊扇单相电动机	YDW	异吊外	DS

续表

序号	产品名称	新产品代号	新代号意义	老产品代号
18	罩极排气扇单相电动机	YPZ	异排罩	
19	电容运转排气扇单相电动机	YPS	异排扇	
20	单相电容运转波轮洗衣机单相电动机	YXB	异洗波	
21	电容运转滚筒洗衣机单相电动机	YXG	异洗滚	
22	电容运转甩干机单相电动机	YYG	异衣干	
23	电影放映机用异步电动机	YYJ	异影机	F
24	电影洗片机用异步电动机	YYP	异影片	JOD

单相异步电动机的型号示例：

YU6324——表示单相电阻起动异步电动机，轴中心高为63mm、2号铁心长、4极。

YC90L6——表示单相电容起动异步电动机，轴中心高为90mm、长铁心、6极。

BO－5612——表示单相电阻起动异步电动机，轴中心高为56mm、1号铁心长、2极。

DO_2－5014——表示单相电容运转异步电动机，第二次系列设计、轴中心高为50mm、1号铁心长、4极。

第3节　异步电动机的铭牌

在异步电动机的铭牌上标明了由制造厂规定的表征电动机正常运行状态的各种额定参数，它们是正确使用、检查和维修电动机的主要依据。图2－1为一台三相异步电动机的铭牌实例。

三相异步电动机			
型号	Y132S－4		出厂编号
功率 5.5kW		电流 11.6A	
电压 380V	转速 1440r/min		噪声 L_w78dB
接法△	防护等级 IP44	频率 50Hz	重量 68kg
标准编号	工作制 S1	绝缘等级 B级	年　月
× × 电机厂			

图2－1　三相异步电动机的铭牌

其中各项内容的含义如下：

（1）型号。型号是表示电动机的类型、结构、规格及性能的代号。

（2）额定功率。额定功率是指电动机在铭牌规定的额定运行状态下工作时，从转轴上输出的机械功率。单位为 W 或 kW。

（3）额定电压。额定电压是指电动机在额定运行状态下工作时，定子绕组上应加的三相电源的线电压值。单位为 V 或 kV。

（4）额定电流。额定电流是指当该电动机输入额定电压，输出额定功率，并设其功率因数、效率及温升等都达到额定值时，定子绕组应输入的线电流值。单位为 A。

（5）额定频率。额定频率是指电动机所使用的交流电源的频率。单位为 Hz。我国规定电力系统的工作频率为 50Hz。有些国家为 60Hz。

（6）额定转速。额定转速是指电动机在额定运行状态下工作时，转子每分钟的转数。单位为转/分（r/min）。异步电动机在运行中的转速与负载有关。空载时，转速略高于额定转速；过载时，转速略低于额定转速。

（7）接法。接法是指电动机在额定电压下，定子三相绕组的连接方法。

三相绕组每相都有两个引出线头，一个称为首端，另一个称为末端。第一相绕组的首端用 U1 表示，末端用 U2 表示；第二相绕组的首端和末端分别用 V1 和 V2 表示；第三相绕组的首端和末端分别用 W1 和 W2 表示。老型号的电动机（如 JO、JO2 等）三相绕组的首端和末端分别用 D1 和 D4、D2 和 D5、D3 和 D6 表示。这 6 个引出线头引入接线盒的接线柱上，接线柱标出对应的符号，如图 2－2（a）所示。

三相异步电动机定子绕组常用的接法有星形连接和三角形连接两种，分别用代号 Y 和△来表示，其具体连接方法分别如图 2－2（b）和图 2－2（c）所示。

（8）防护等级。电动机的外壳防护等级表示防止外界固体和

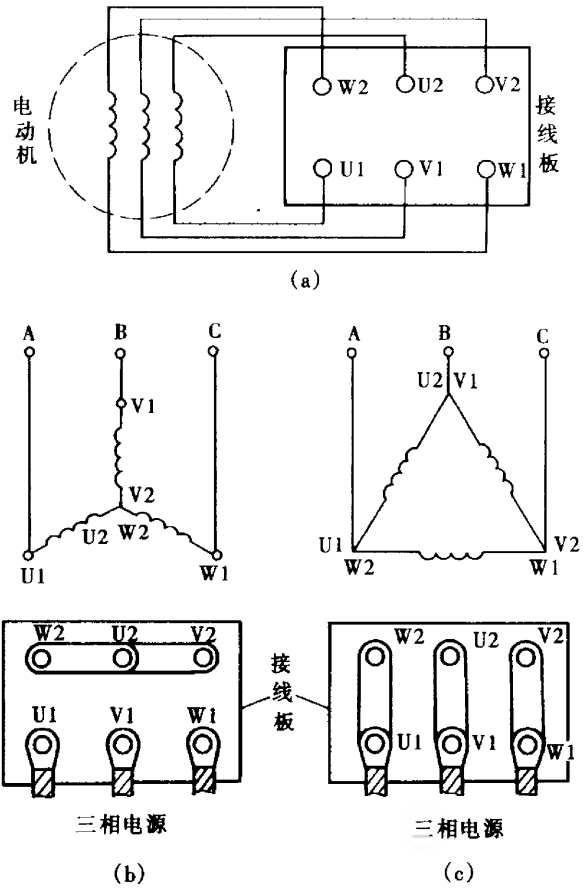


图 2-2　三相异步电动机的接线方法

(a) 端子排列顺序；(b) 星形连接；(c) 三角形连接

液体（一般指水）进入机壳内的能力。

电动机外壳防护等级的标志由字母 IP 后加两位数字表示。第一位数字为防固体等级，见表 2-5；第二位数字为防液体等级，见表 2-6。数字越大，防护能力越强。不同外壳防护型式的异步电动机的外形如图 2-3 所示。

(9) 工作制（或定额）。工作制是指电动机在额定值条件下运行时，允许连续运行的时间，即电动机的工作方式。连续工作制、短时工作制和断续周期工作制是基本的三种工作制。

表 2－5　　电机的外壳按防止固体异物进入内部及防止人体触及内部的带电或运动部分划分的防护等级

防护等级	简　　称	定　　义
0	无防护	没有专门的防护
1	防止大于 50mm 的固体进入的电机	能防止直径大于 50mm 的固体异物进入壳内，能防止人体的某一大面积部分（如手）偶然或意外地触及壳内带电或运动部分，但不能防止有意识地接近这些部分
2	防止大于 12mm 的固体进入的电机	能防止直径大于 12mm 的固体异物进入壳内，能防止手指、长度不超过 80mm 物体触及或接近壳内带电或运动部分
3	防止大于 2.5mm 的固体进入的电机	能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于 2.5mm 的工具、金属线等触及或接近壳内带电或转动部分
4	防止大于 1mm 的固体进入的电机	能防止直径大于 1mm 的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于 1mm 的导线、金属条等触及或接近壳内带电或转动部分
5	防尘电机	能防止触及或接近机内带电或转动部分。不能完全防止尘埃进入，但进入量不足以影响电机的正常运行

表 2－6　　电机外壳按防水进入内部程度的防护等级

防护等级	简　　称	定　　义
0	无防护电机	没有专门的防护
1	防滴电机	垂直的滴水应无有害影响
2	15°防滴电机	与铅垂线成 15°角范围内的滴水，应无有害影响
3	防淋水电机	与铅垂线成 60°角范围内的淋水，应无有害影响
4	防溅水电机	任何方向的溅水应无有害的影响
5	防喷水电机	任何方向的喷水应无有害的影响

续表

防护等级	简　　称	定　　义
6	防海浪电机	猛烈的海浪或强力喷水应无有害的影响
7	防浸水电机	在规定的压力和时间内浸在水中，进入水量应无有害的影响
8	潜水电机	在规定的压力下长时间浸在水中，进入水量应无有害的影响

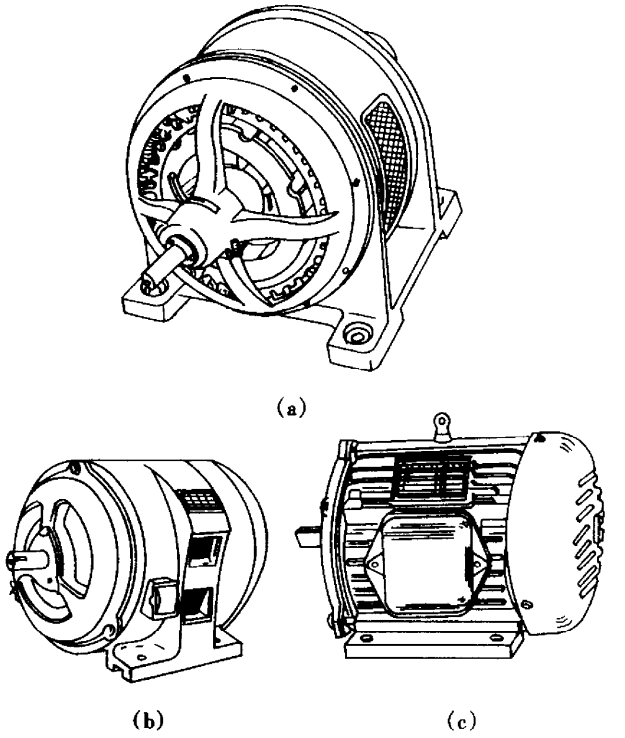


图 2-3　不同外壳防护型式的异步电动机外形

(a) IP11（开启式）；(b) IP23（防护式）；(c) IP44（封闭式）

连续工作制代号为 S1，是指该电动机在铭牌规定的额定值下，能够长时间连续运行。

短时工作制代号为 S2，是指该电动机在铭牌规定的额定值

下，能在限定的时间内短时运行。我国规定的短时工作制的标准时间有 15、30、60、90min 4 种。

断续周期工作制代号为 S3，是指该电动机在铭牌规定的额定值下，只能断续周期性地运行。按国家标准规定每个工作与停歇的周期 $t_z = t_g + t_0 \leqslant 10\text{min}$。每个周期内工作时间 t_g 占的百分数称为负载持续率（又称暂载率），用 $FS\%$ 表示，计算公式为

$$SF\% = \frac{t_g}{t_g + t_0} \times 100\%$$

我国规定的标准负载持续率有 15%、25%、40%、60% 4 种。

（10）绝缘等级（或温升）。电机的绝缘等级表示其所用的各种绝缘材料（包括电磁线的外绝缘层、所用浸渍漆、引接线的绝缘及绝缘套管、槽内绝缘、层间及相间绝缘等）的耐热能力。每一绝缘等级的绝缘材料都有相应的极限允许工作温度（又称最高温度），见表 2-7。电机运行时，绕组最热点的温度不得超过表 2-7 中的规定。否则，会引起绝缘材料过快老化，缩短电机寿命。如果温度超过允许值很多，绝缘就会损坏，导致电机烧毁。

表 2-7　　绝缘材料的耐热等级及极限工作温度

绝缘等级	A	E	B	H	F
极限工作温度（℃）	105	120	130	155	180

电机某部件的温度与周围介质温度（周围环境温度）之差，就叫做该部件的温升。电机在额定状态下长期运行而其温度达到稳定时，电机各部件温升的允许极限值称为温升限度（又称温升限值）。国家标准对电机的绕组、铁心、冷却介质、轴承、润滑油等部分的温升都规定了不同的限值。中小型电机绕组的温升限值见表 2-8。

（11）噪声等级。噪声等级是指电动机在空载运行时测得的 A 计权声功率级的噪声数值。声功率级用符号 L_W 表示，单位为分贝（dB）。

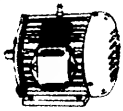
表 2－8　　中小型电机绕组的温升限值　　℃

绝缘等级	绝缘结构许用温度	环境温度	热点温差	温升限值（电阻法）
A	105	40	5	60
E	120	40	5	75
B	130	40	10	80
F	155	40	15	100
H	180	40	15	125

此外，有的铭牌上还标有功率因数和效率等。

绕线转子三相异步电动机的铭牌上除标有上述内容外，还标有转子电压和转子电流。转子电压是指电动机转子静止，且转子三相绕组开路，定子绕组加额定频率的额定电压时，在集电环上测得的转子绕组所感应的线电压，也称转子开路电压，单位为伏（V）；转子电流是指电动机在额定运行状态下工作时，转子绕组出线端短接后，转子绕组的线电流，单位为安（A）。

异步电动机的基本结构与工作原理



第 1 节　三相异步电动机的基本结构与工作原理

一、三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机主要由两大部分组成，一个是静止部分，称为定子；另一个是旋转部分，称为转子。转子装在定子腔内，为了保证转子能在定子内自由转动，定子与转子之间必须有一个很小的间隙，称为气隙。此外定子两端还装有端盖等。笼型三相异步电动机的结构如图 3－1 所示，绕线转子三相异步电动机的结构如图 3－2 所示。

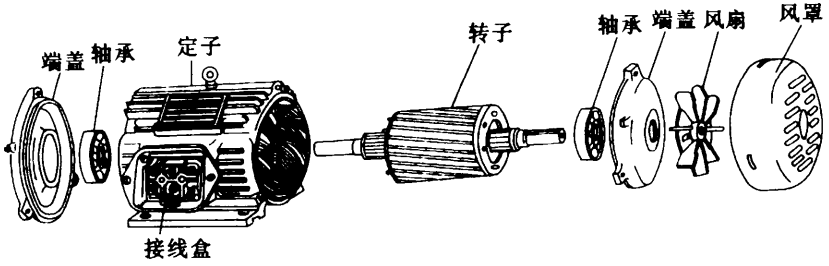


图 3－1　笼型三相异步电动机的结构

1. 定子部分

定子主要由机座、定子铁心、定子绕组等三部分组成。

(1) 机座。机座是电动机的外壳和支架，它的作用是固定和保护定子铁心及定子绕组并支撑端盖。异步电动机的机座不作导磁之用，故通常采用铸铁机座，有些微型电机采用铸铝机座，大型异步电动机的机座一般用钢板焊成。

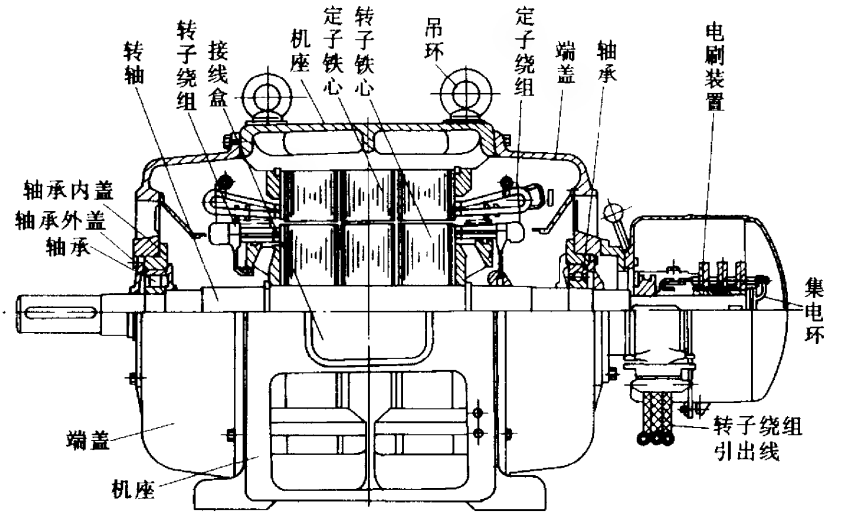


图 3－2　绕线转子三相异步电动机的结构

（2）定子铁心。定子铁心是电动机的磁路的一部分，一般用0.5mm厚的硅钢片叠压而成。在定子冲片的内圆均匀地冲有许多槽，用以嵌放定子绕组。定子铁心如图 3－3（a）所示。

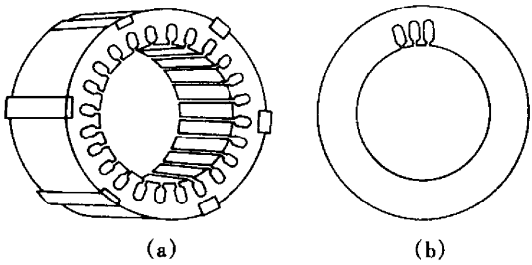


图 3－3　定子铁心与定子冲片

（a）定子铁心；（b）定子冲片

（3）定子绕组。定子绕组是电动机的电路部分。三相异步电动机有三个独立的绕组（即三相绕组），三相绕组是对称的，每相绕组包含若干个线圈，每个线圈又由若干匝构成。中小型电动机的线圈一般采用高强度漆包圆铜线绕制而成，大中型电动机的

线圈一般采用外层包有绝缘的扁铜线做成成型线圈。三相绕组按照一定的规律依次嵌放在定子槽内，并与定子铁心之间绝缘。定子绕组通以三相交流电时，便会产生旋转磁场。

2. 转子

转子主要由转子铁心、转子绕组和转轴等组成。

(1) 转子铁心。转子铁心也是电动机磁路的一部分，一般用 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成，在硅钢片的外圆上均匀地冲有许多槽，用以插入铜条（或浇铸铝条）或嵌放转子绕组。转子铁心如图 3-4 所示。

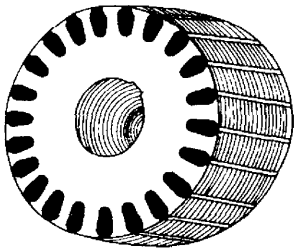
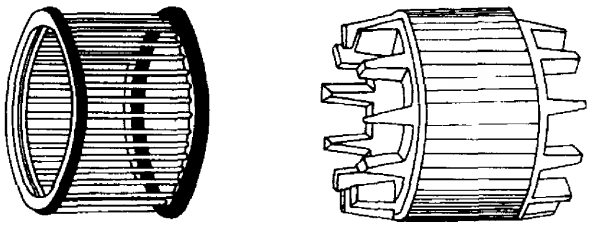


图 3-4 转子铁心

(2) 转子绕组。转子绕组分为笼型和绕线型两种。

笼型转子的绕组是在转子铁心的槽内插进铜条（称为导条），铜条两端分别焊在两个铜环（称为端环）上，构成闭合回路。如果去掉铁心，整个绕组就像一只笼子，如图 3-5（a）所示，故称为笼型转子绕组。

为了节约用铜，中小型及微型异步电动机一般都采用铸铝的笼型转子，即把熔化的铝液浇铸在转子铁心槽内，形成导条，并同时铸出端环和风叶。铸铝笼型转子如图 3-5（b）所示。



(a) (b)

图 3-5 笼型转子绕组

(a) 铜条绕组；(b) 铸铝绕组

绕线型转子绕组与定子绕组相似，也是用电磁线绕制而成，按照一定的规律嵌入转子铁心槽内，构成三相对称绕组。三相绕组一般采用星形（Y）连接，三根引出线通过转轴内孔分别接到固定在转轴上的三个彼此绝缘的集电环（俗称滑环）上。转子绕组可以通过集电环和电刷与外接变阻器相连，用以改善电动机的起动性能或调节电动机的转速。绕线转子如图 3－6（a）所示，绕线转子绕组与外加变阻器的连接，如图 3－6（b）所示。

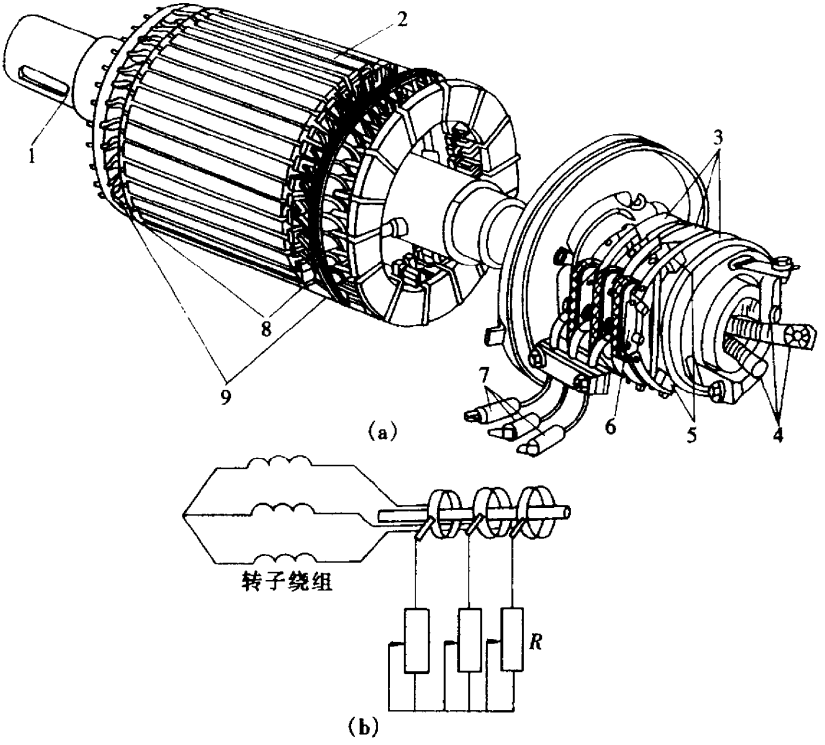


图 3－6　绕线转子

（a）绕线转子；（b）绕线转子绕组与外加变阻器的连接

1—转轴；2—转子铁心；3—集电环；4—转子绕组引出线头；5—电刷；6—刷架；7—电刷外接线；8—三相转子绕组；9—镀锌钢丝箍

（3）转轴。转轴一般由中碳钢制成，它的作用主要是支撑转子，传递转矩，并保证定子与转子之间具有均匀的气隙。气隙也是电机磁路的一部分。气隙越小，电动机的功率因数越高、空载

电流越小。但气隙太小，会使定子铁心与转子铁心发生“扫膛”现象，并给装配带来困难，因此电动机的气隙量是经过周密计算的。

二、三相异步电动机的工作原理

图 3－7（a）所示的是异步电动机的物理模型。它由一个装有手柄的马蹄形磁铁和一个可以自由转动的、由铜条做成的笼型

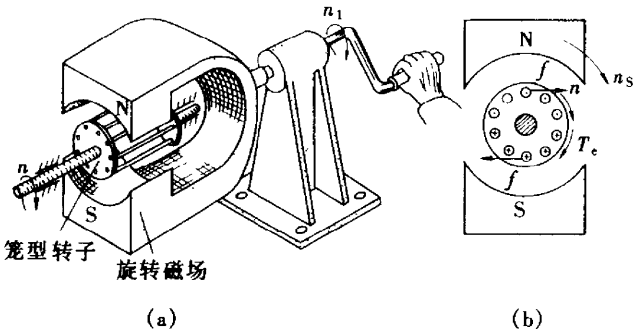


图 3－7　异步电动机工作原理示意图

（a）异步电动机的物理模型；（b）异步电动机的电磁关系

转子组成，磁铁和转子之间没有机械联系。当摇动手柄使磁铁转动时，转子会跟着它朝相同的方向转动，转子的转速比磁铁的转速稍慢。下面来解释转子转动的原理。

先假设转子静止，如果我们转动磁铁，则它的磁场就会与笼型转子中的导体（即导条）之间产生相对运动，若磁场顺时针方向旋转，如图 3－7（b）所示，则相当于转子导体逆时针方向切割磁力线，根据右手定则可以确定，转子上半部导体中的感应电动势方向都是垂直纸面出来，用⊙表示；转子下半部导体中的感应电动势方向都是垂直进入纸面，用⊕表示。由于转子导体与端环构成闭合回路，因此在感应电动势的作用下，导体中就有感应电流通过。假如我们不考虑导体中电流与电动势的相位差，则导体中感应电流的方向就与感应电动势的方向相同。

我们从物理和电工基础中还知道，载流导体在磁场中会受到电磁力 f 的作用，导体所受电磁力 f 的方向可根据左手定则确

定。因此，在图 3－7（b）中，转子上半部各导体都受到了向右的电磁力，转子下半部各导体都受到了向左的电磁力。这是一对大小相等、方向相反的力，因此就形成了电磁转矩 T_e，使笼型转子朝着磁场旋转的方向转动起来。这就是异步电动机的简单工作原理。

实际的三相异步电动机是利用定子三相对称绕组通入对称三相电流而产生旋转磁场的，它的作用与旋转磁极的磁场相同，这个旋转磁场的转速 n_s 称为同步转速。三相异步电动机转子的转速 n 不可能达到定子旋转磁场的转速，即异步电动机的转速 n 不可能达到同步转速 n_s。因为，如果达到同步转速，则转子导体与旋转磁场之间就没有相对运动，因而在转子导体中就不能产生感应电动势和感应电流，也就不能产生推动转子旋转的电磁力 f 和电磁转矩 T_e，所以，异步电动机的转速 n 总是低于同步转速 n_s，即两种转速之间总是存在差异，异步电动机因此而得名。由于异步电动机的转子电流是由电磁感应产生的，故异步电动机又称感应电动机。

三、定子旋转磁场的产生

图 3－8 为三相异步电动机定子绕组的示意图。在图 3－8（a）中，导体 A 与导体 X 组成一个线圈，导体 B 与 Y、C 与 Z 分别组成另外两个线圈，三个线圈在空间位置上互差 120°电角度，

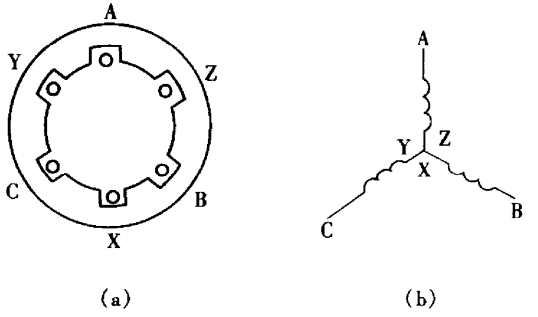


图 3－8　最简单的三相绕组示意图

（a）布置图；（b）接线图

每个线圈为一相绕组。三相绕组按图 3－8（b）接成星形，并把三相绕组的首端 A、B、C 分别接到三相交流电源上，则就有三相交流电流通过相应的定子绕组。在绕组中通过的三相对称电流的变化规律为

$$i_A = I_m \sin \omega t$$

$$i_B = I_m \sin(\omega t - 120°)$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t - 240°)$$

式中 ω——定子电流的角频率（$\omega = 2\pi f_1$），rad/s；

f_1——定子电流的频率，Hz；

t——时间，s。

各相电流随时间变化的曲线如图 3－9 所示。

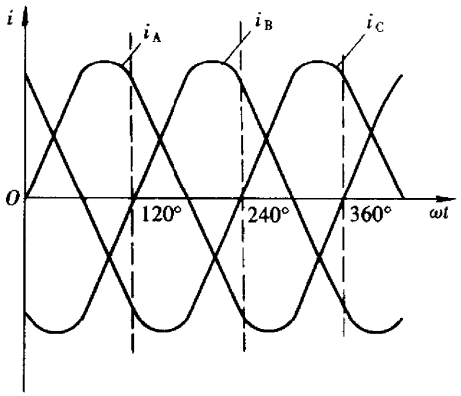


图 3－9　三相对称电流的波形图

假定交流电流为正值时，电流从绕组的首端流进去，而从末端流出来；当电流为负值时，电流从绕组的末端流进去，而从首端流出来。凡是电流流进去的那一端标以“⊕”，电流流出来的那一端则标以“⊙”。

当 $\omega t = 0°$时，由图 3－9 可以看出，$i_A = 0$，A 相绕组中没有电流；i_B 为负值，即电流从末端 Y 流入，首端 B 流出；i_C 为正值，电流从首端 C 流入，末端 Z 流出。如图 3－10（a）所示。

根据右手螺旋定则，可以画出其合成磁场，并根据图中磁力线的方向可定出 N 极和 S 极的位置。这种绕组的布置方式所产生的磁场是两极磁场，即极对数 $p = 1$。

同理，当 $\omega t = 120°$时，$i_B = 0$，B 相绕组中没有电流；i_A 为

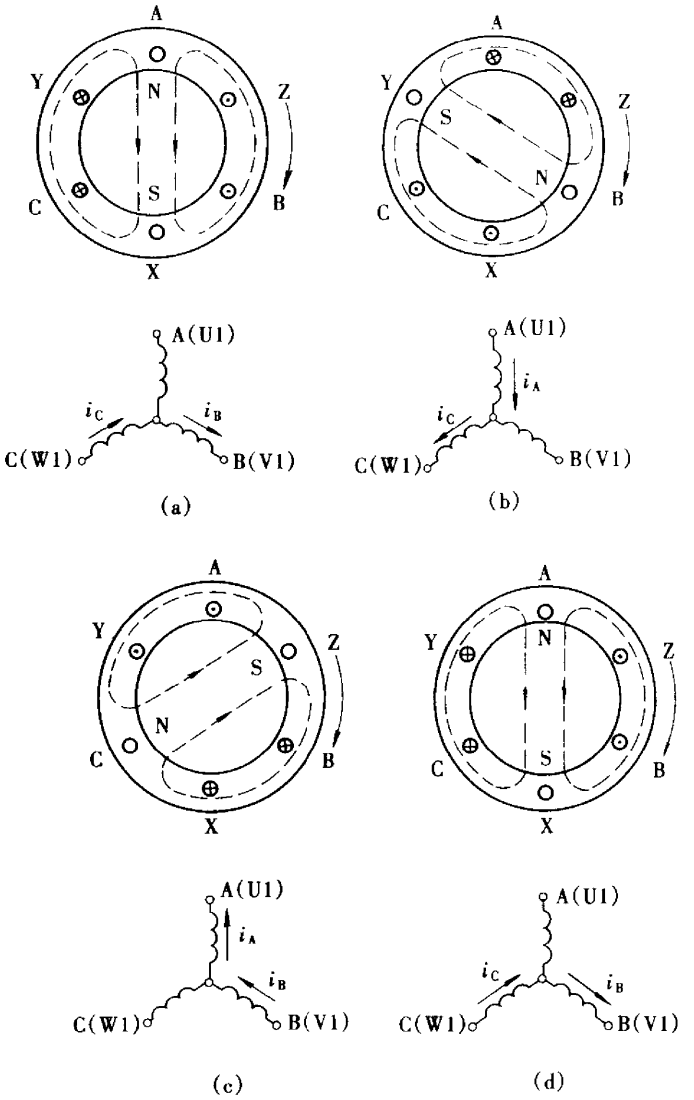


图 3－10　两极旋转磁场的产生

（a）$\omega t = 0°$；（b）$\omega t = 120°$；（c）$\omega t = 240°$；（d）$\omega t = 360°$

正值，电流从首端 A 流入，末端 X 流出；i_C 为负值，电流从末端 Z 流入，首端 C 流出。其合成磁场如图 3－10（b）所示。与 $\omega t = 0°$时相比，合成磁场已沿顺时针方向在空间转过了120°。

用同样的方法，可画出 $\omega t = 240°$和 $\omega t = 360°$时的合成磁场，分别如图 3－10（c）及（d）所示。

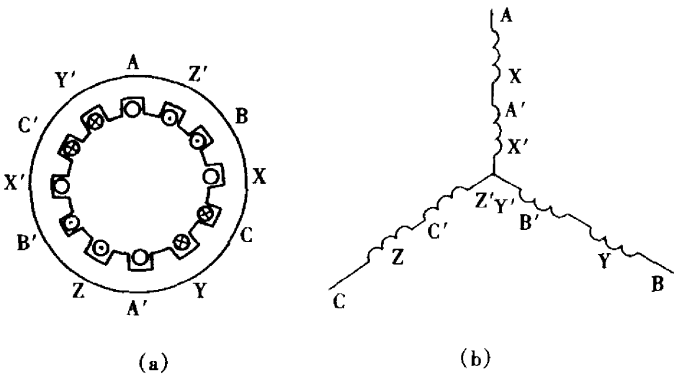
由上述分析可以看出，对于图 3－10 所示的三相对称绕组，通入对称三相电流后，产生一个两极旋转磁场，当电流变化一个周期后，合成磁场在空间旋转 360°。电流不断地变化，合成磁场也不断地旋转。

四、旋转磁场的转速

根据上面的分析可知，对于图 3－8 所示的三相绕组，可以产生两极的旋转磁场（$p = 1$）。由图 3－10 可以看出，当电流变化一个周期后，两极的旋转磁场在空间旋转 360°。若定子电流的频率为 f_1，表示电流每秒变化 f_1 个周期，那么旋转磁场的转速为 f_1 r/s。通常转速是以每分钟的转数来计算的，若以 n_s 表示旋转磁场每分钟的转速（单位为 r/min），则

$$n_s = 60f_1$$

如果沿定子圆周有 12 个槽，每相绕组由两个线圈串联（或并联）组成，如图 3－11 所示，A 相绕组由 A－X 和 A′－X′两个



(a)　　(b)

图 3－11　三相四极绕组示意图

(a) 布置图；(b) 接线图

线圈组成；B 相绕组由 B－Y 和 B′－Y′两个线圈组成；C 相绕组由 C－Z 和 C′－Z′两个线圈组成，三相绕组为星形连接。当定子绕组通入对称三相交流电流后，就会产生一个四极（$p=2$）的旋转磁场。图 3－12 画出了当 $\omega t=0°$、120°、240°、360°时的定子合成磁场的分布情况。

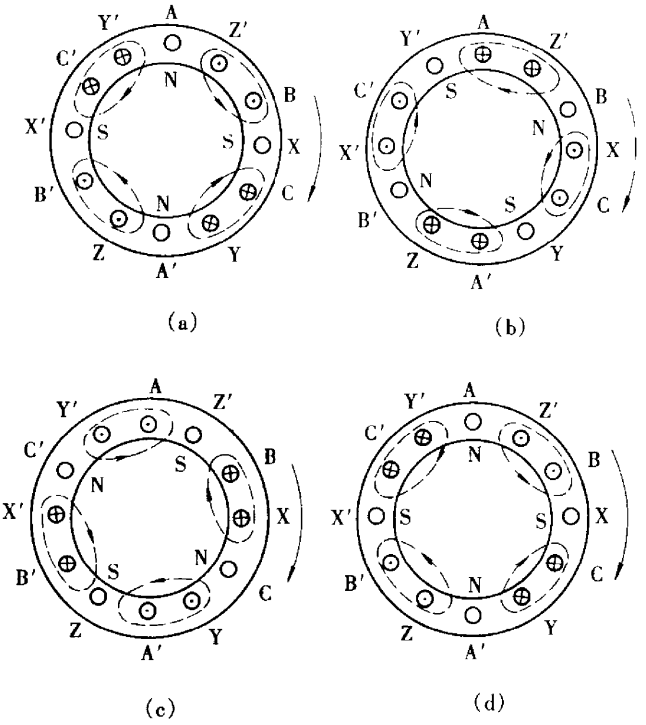


图 3－12　四极旋转磁场的产生

（a）$\omega t=0°$；（b）$\omega t=120°$；（c）$\omega t=240°$；（d）$\omega t=360°$

由图 3－12 可以看出，对于四极的旋转磁场（$p=2$），当电流变化一个周期后，合成磁场在空间只旋转 180°，所以

$$n_s=\frac{60f_1}{2}$$

由此可以推广到具有 p 对磁极的磁场，其转速为

$$n_s=\frac{60f_1}{p}$$

从上述公式中可以知道，旋转磁场的转速 n_s 决定于电源的频率 f_1 和电动机的极对数 p。我国规定的电源标准频率为 50Hz，所以各种极对数的电动机所对应的旋转磁场的转速见表 3－1。交流电机旋转磁场的转速 n_s 称为同步转速。

表 3－1　　交流电机的极对数与同步转速的关系　　(f_1 = 50Hz)

极　对　数	1	2	3	4	5	6
同步转速（r/min）	3000	1500	1000	750	600	500

五、旋转磁场的转向

在分析两极旋转磁场的形成时（见图 3－10）我们看到，三相绕组 A－X、B－Y、C－Z 在定子铁心槽内的位置是顺时针方向排列的。另外，由图 3－9 可知，对称三相电流的相序（即三相电流出现最大值的顺序）为A－B－C。如果将 A、B、C 三相电源分别接三相绕组的首端 A、B、C，由图 3－10 可知，其旋转磁场是顺着 A、B、C 三相绕组在定子铁心槽内排列的方向（顺时针方向）旋转的。

必须指出，电动机三相绕组在定子铁心槽内排列的顺序是由所接电源来决定的，任意一相绕组都可以接 A 相（或 B 相、C 相）电源，但电源的相序是固定的（见图 3－9），如果把三根电源线中的任意两根（例如 A 和 B）对调，则相当于图 3－10 中 A－X 与 B－Y 两相绕组在定子铁心槽内的位置对调（因为原绕组 A－X 改接 B 相电源，所以应将原绕组 A－X 改为 B－Y。同理，因为原绕组 B－Y 改接 A 相电源，所以应将原绕组 B－Y 改为 A－X），因此三相绕组 A－X、B－Y、C－Z 在定子铁心槽内的位置变成了按逆时针方向排列。应用同样的分析方法可得出，这时旋转磁场将沿逆时针方向旋转了。

由于异步电动机转子的转向与旋转磁场的转向相同，所以只要把三相异步电动机与三相电源接线中的任意两根对调，就能使三相异步电动机的转子反转。

六、异步电动机的转速和转差率

异步电动机转子的转向虽与旋转磁场的转向一致，但它的转速 n 始终小于同步转速 n_s，这是由异步电动机的工作原理所决定的。同步转速 n_s 与转子转速 n 之差与同步转速之比，称为异步电动机的转差率，并用 s 表示，即

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \text{ 或 } s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

转差率 s 是分析异步电动机运行情况的一个重要参数。对于同一台电动机来说，当电源频率 f 和极对数 p 一定时，同步转速 n_s 是不变的，但是，电动机的转子转速 n 是随负载的变动而变化的。通常异步电动机空载时，转差率约在 0.5% 以下；额定负载时，转差率约在 2%～5%。

第 2 节　单相异步电动机的基本结构与工作原理

一、单相异步电动机的基本结构

单相异步电动机与三相异步电动机的基本结构有所不同，但其主要的结构特点是差不多的。单相异步电动机的基本结构可以分为以下三个主要部分。

1. 定子

定子由定子铁心和定子绕组组成。单相异步电动机的定子有两种形式：

(1) 分相式单相异步电动机采用与三相异步电动机相似的结构，定子铁心如图 3-3 (a) 所示，也是用硅钢片叠压而成。但在定子铁心槽内嵌放有两套绕组，一套是主绕组，又称工作绕组或运行绕组；另一套是副绕组，又称起动绕组或辅助绕组。两套绕组的轴线在空间位置上应相差一定的电角度。

(2) 凸极式罩极单相异步电动机的定子铁心是凸极形状的铁心，如图 3-13 所示，也是由硅钢片叠压而成。磁极的一部分被短路环罩住。凸极上放置主绕组，短路环为副绕组（起动绕组）。

隐极式罩极单相异步电动机的定子铁心和绕组放置与分相式单相异步电动机相同。但是，其起动绕组是闭合的，所以也称为短路绕组。

2. 转子

单相异步电动机的转子，与笼型三相异步电动机的转子相同。

3. 起动元件

有的单相异步电动机还具有起动元件。起动元件串联在起动绕组回路中，起动元件的作用是在电动机起动结束后（转子转速达到额定转速的 70% ~ 80%时），切断起动绕组的电源。常用的起动元件有离心式开关、起动继电器等。

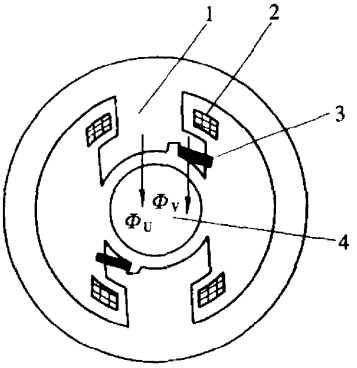


图 3 - 13　凸极式罩极单相异步电动机

1—定子铁心；2—主绕组；3—短路环；4—转子

二、单相异步电动机的工作原理

当仅在单相异步电动机的主绕组中通入单相正弦交流电后，在电动机中将产生一个脉振磁场，也就是说，该磁场的位置固定（位于主绕组的轴线），而磁场的强弱却按正弦规律变化。

如果只接通单相异步电动机主绕组的电源，电动机不能转动。但如能加一外力预先推动转子朝任意方向旋转起来，则将主绕组接通电源后，电动机即可朝该方向旋转起来，即使去掉了外力，电动机仍能继续旋转，并能带动一定的机械负载。单相异步电动机为什么会有这样的特征呢？下面用双旋转磁场理论来解释。

双旋转磁场理论认为：脉振磁场可以认为是由两个旋转磁场合成的，这两个旋转磁场的幅值大小相等（等于脉振磁动势幅值的 1/2），同步转速相同（当电源频率为 f，电动机极对数为 p 时，旋转磁场的同步转速 $n_s = \dfrac{60f}{p}$），但旋转方向相反。其中与转子旋转方向相同的磁场称为正序（或称正向）旋转磁场，与转

子旋转方向相反的磁场称为逆序（或称逆向）旋转磁场。

单相异步电动机的电磁转矩，可以认为是分别由这两个旋转磁场所产生的电磁转矩合成的结果。

当电动机转子静止时，由于转子导条与两个旋转磁场相对运动的速度大小相等、方向相反，所以，两个旋转磁场在转子绕组中感应产生的电动势和电流大小相等、方向相反，它们分别产生的正向电磁转矩与反向电磁转矩也大小相等、方向相反。两个电磁转矩相互抵消，于是合成电磁转矩等于零。单相异步电动机不能够自行起动。

如果借助外力，沿某一方向推动转子旋转一下，这时转子导条与两个旋转磁场相对运动的速度就不相等，因此两个旋转磁场分别产生的正向电磁转矩与反向电磁转矩也不相等，正向电磁转矩大于反向电磁转矩，合成电磁转矩不等于零，在这个合成电磁转矩的作用下，转子就顺着初始推动的方向旋转起来。

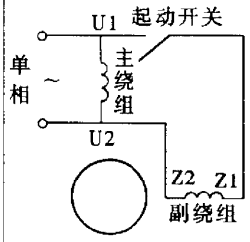
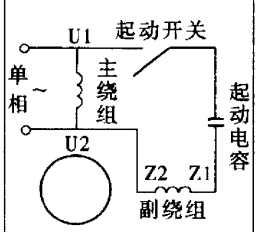
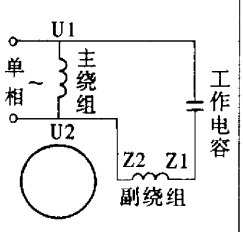
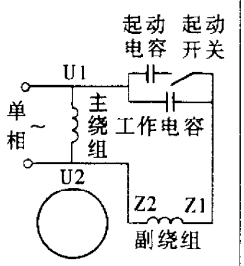
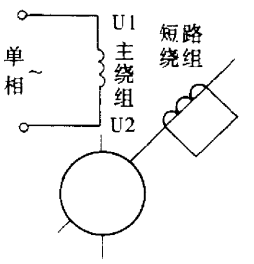
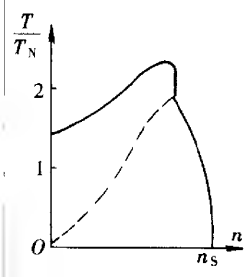
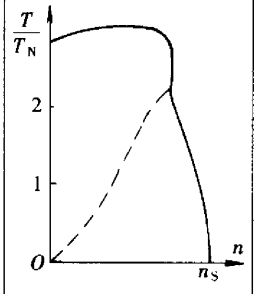
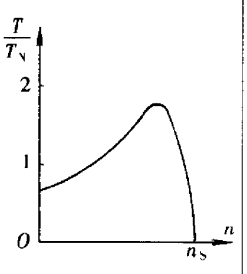
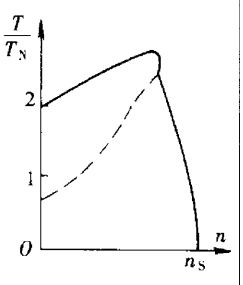
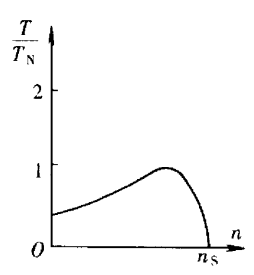
三、单相异步电动机的起动方法

从单相异步电动机的工作原理我们知道，单相异步电动机不能自行起动，需要设法使它起动。一般是设法使它在起动时能产生一个旋转磁场，或者使正序旋转磁场增强，负序旋转磁场削弱，这样就和普通三相异步电动机相似，能够自行起动了。

为此，人们采取了几种不同的措施，如在单相异步电动机中设置起动绕组（副绕组）。主、副绕组的轴线在空间一般相差 90° 电角度。当设法使主、副绕组中流过不同相位的电流时，就可以产生两相旋转磁场，从而达到单相异步电动机起动的目的。当主、副绕组的轴线在空间相差 90°电角度，并且主、副绕组中的电流相位差也为 90°时，可以产生圆形旋转磁场，单相异步电动机的起动性能和运行性能最好。否则，将产生椭圆形旋转磁场，电动机的起动性能和运行性能较差。

不同类型的单相异步电动机，产生旋转磁场的方法（即起动方法）也不相同。不同类型的单相异步电动机的结构特点和典型应用见表 3－2。

表 3－2　　笼型单相异步电动机结构特点和应用

电动机类型	电阻起动	电容起动	电容运转	电容起动与运转	罩　极　式
基本系列代号	YU(JZ、BO、BO2)	YC(JY、CO、CO2)	YY(JX、DO、DO2)	YL	YJ
接线原理图					
机械特性曲线 $\frac{T}{T_N}=f(n)$ $\frac{T}{T_N}$——输出转矩倍数； T_N——额定输出转矩； n——转速					

续表

电动机类型	电阻起动	电容起动	电容运转	电容起动与运转	罩 极 式
基本系列代号	YU(JZ、BO、BO2)	YC(JY、CO、CO2)	YY(JX、DO、DO2)	YL	YJ
最大转矩倍数	>1.8	>1.8	>1.6	>2	
最初起动转矩倍数	1.1~1.6	2.5~2.8	0.35~0.6	>1.8	<0.5
最初起动电流倍数	6~9	4.5~6.5	5~7		
功率范围(W)	40~370	120~750	8~180	8~750	15~90
额定电压(V)	220	220	220	220	220
同步转速(r/min)	1500;3000	1500;3000	1500;3000	1500;3000	1500;3000

续表

电动机类型	电阻起动	电容起动	电容运转	电容起动与运转	罩极式
基本系列代号	YU(JZ、BO、BO2)	YC(JY、CO、CO2)	YY(JX、DO、DO2)	YL	YJ
结构特点	定子具有主绕组和副绕组，它们的轴线在空间相差90°电角度。电阻值较大的副绕组经起动开关与主绕组并接于电源。当电动机转速达到75%～80%同步转速时，通过起动开关将副绕组切离电源，由主绕组单独工作。 为使副绕组得到较高的电阻对电抗的比值，可采取如下措施： (1)用较细铜线，以增大电阻； (2)部分线圈反绕，以增大电阻减少电抗； (3)用电阻率较高的铝线； (4)串入一个外加电阻	定子主绕组、副绕组分布与电阻起动电动机相同，副绕组和一个容量较大的起动电容器串联，经起动开关与主绕组并联于电源。当电动机转速达到75%～80%同步转速时，通过起动开关，将副绕组切离电源，由主绕组单独工作	定子具有主绕组和副绕组，它们的轴线在空间相差90°电角度。副绕组串联一个工作电容器(容量较起动电容器小得多)后，与主绕组并接于电源，且副绕组长期参与运行	定子绕组与电容运转电动机相同，但副绕组与两个并联的电容器串联。当电动机转速达到75%～80%同步转速时，通过起动开关将起动电容器切离电源，而副绕组和工作电容器继续参与运行。 起动电容器大于工作电容器容量	一般采用凸极定子，主绕组是集中绕组，并在极靴的一小部分上套有电阻很小的短路环(又称罩极绕组)。另一种是隐极定子，其冲片形状和一般异步电动机相同，主绕组和罩极绕组均为分布绕组，它们的轴线在空间相差一定的电角度(一般为45°)，罩极绕组匝数少，导线粗
典型应用	具有中等起动转矩和过载能力，适用于小型车床、鼓风机、医疗机械等	具有较高起动转矩、适用于小型空气压缩机、电冰箱、磨粉机、水泵及满载起动的机械等	起动转矩较低，但有较高的功率因数和效率，体积小，重量轻，适用于电风扇、通风机、录音机及各种空载起动的机械	具有较高的起动性能、过载能力、功率因数和效率，适用于家用电器，泵、小型机床等	起动转矩、功率因数和效率均较低，适用于小型风扇、电动模型及各种轻载起动的小功率电动设备

注 1. 单相电容起动与运转异步电动机，又称单相双值电容异步电动机。

2. 基本系列代号中括号内是老系列代号。

表 3－2 中前 4 种电动机都具有两个空间位置上相差 90°电角度的绕组，并且用电容或电阻使两个绕组中的电流之间产生相位差，从而产生旋转磁场，所以统称为分相式单相异步电动机。

四、改变单相异步电动机转向的方法

分相式单相异步电动机旋转磁场的旋转方向与主、副绕组中电流的相位有关，由具有超前电流的绕组的轴线转向具有滞后电流的绕组的轴线。如果需要改变分相式单相异步电动机的转向，可把主、副绕组中任意一套绕组的首尾端对调一下，接到电源上即可。

罩极式单相异步电动机（见图 3－13）旋转磁场的旋转方向是从磁通领先相绕组的轴线（ϕ_U 的轴线）转向磁通落后相绕组的轴线（ϕ_V 的轴线），这也就是电动机转子的旋转方向。在罩极式单相异步电动机中，磁通 ϕ_U 永远领先磁通 ϕ_V，因此，电动机转子的转向总是从磁极的未罩部分转向被罩部分，即使改变电源的接线，也不能改变电动机的转向。如果需要改变罩极式单相异步电动机的旋转方向，则需要把电动机拆开，将定子或转子反向安装，才可以改变其旋转方向。

4 异步电动机的绕组

第1节 异步电动机绕组常用名词术语

绕组是电机的主要部件之一。异步电动机定子绕组常用名词术语如下：

（1）线圈。线圈是构成绕组的最基本单元，所以也称为绕组元件。线圈可能由一匝电磁线绕成，也可能由多匝电磁线绕成。常见的线圈有菱形（又称梭形）线圈和弧形（又称半圆形）线圈。常用线圈及其简化画法如图4-1所示。

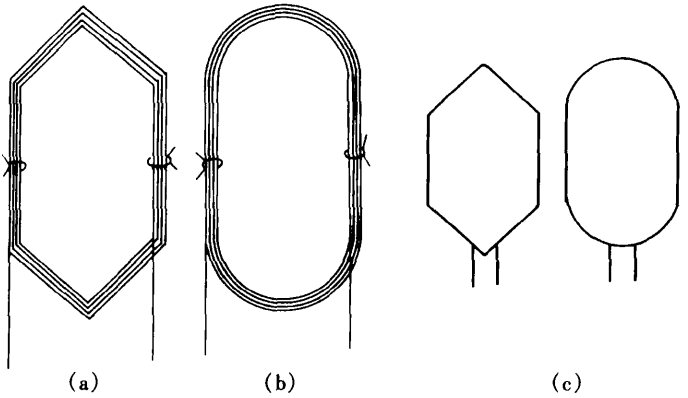


图4-1 常用线圈及其简化画法

（a）菱形线圈；（b）弧形线圈；（c）多匝线圈简化画法

（2）线圈组。由多个线圈按一定连接方法组成一组，称为线圈组。

（3）绕组。由多个线圈或线圈组按照一定规律连接在一起就

形成了绕组。

(4) 有效边。每个线圈都有两个直线边，这两条直线边分别嵌入铁心槽内，电磁能量转换主要通过嵌入铁心槽内的直线部分进行，故称它为有效边。

(5) 端部。两个有效边之间的连线称为端部，仅起到把有效边连接起来的作用。

(6) 电角度。计量电磁关系的角度单位称为电气角度，简称电角度。电机圆周在几何上占有角度为360°，称为机械角度。而从电磁方面看，对于一个按一定周期变化的物理量（磁动势、电动势、电压或电流等）完成一个交变周期，其相位即变化了360°(2πrad)。我们把这种无形的角度称为电角度。因此，一对磁极占有空间电角度为360°。而对于4极（磁极对数 $p=2$）电机，其电角度为机械角度的两倍。一般而言，对于 p 对极电机，其电角度为机械角度的 p 倍，即

$$\text{电角度} = p \times \text{机械角度}$$

(7) 槽距角。定子相邻两槽之间的距离以电角度表示时，称为槽距电角，简称槽距角，用 α 表示。其计算式为

$$\alpha = \frac{p \times 360°}{Z_1}$$

式中 Z_1——定子槽数。

(8) 极距。每个磁极在定子铁心的内圆上所占的范围称为极距，用 τ 表示。极距可以用槽数、对应的圆弧长度或电角度量度。即

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} \text{ 或 } \tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p} \text{ 或 } \tau = 180°$$

式中 Z_1——定子槽数；

D_{i1}——定子铁心内径。

(9) 线圈节距。一个线圈的两个有效边在定子铁心内圆周所跨的距离称为节距，用 y 表示。节距可以用槽数或对应的圆弧长度量度，它有整距、短距和长距之分：

1）$y=\tau$ 时为整距线圈，它可以产生最大的感应电动势。

2）$y<\tau$ 时为短距线圈，它可以缩短线圈端部连线，节省导线，改善电动机的性能。

3）$y>\tau$ 时为长距线圈，浪费导线，只在特殊电机（如单绕组变极多速异步电动机）中采用。

节距（又称跨距）有两种表示形式，例如用槽数表示节距时，若 $y=8$，可表示为 $y=1-9$；同理，若 $y=9$，可表示为 $y=1-10$。

当在一台电机中使用不同节距的线圈时，可用 y_1、y_2、y_3 等加下角标的方法区分。

（10）每极每相槽数。每个磁极下面每相绕组所占的槽数称为每极每相槽数，用 q 表示，即

$$q=\frac{Z_1}{2pm}$$

式中 Z_1——定子槽数；

p——极对数；

m——相数，对于三相异步电动机，$m=3$，对于单相异步电动机，$m=2$。

（11）相带。为了使异步电动机的定子绕组对称，通常令每个磁极下每相绕组所占的范围相等，这个范围称为相带。

对于三相异步电动机。由于一个磁极相当于180°电角度，分配到三相，则每相的相带为60°电角度，按60°相带排列的绕组称为60°相带绕组。三相异步电动机还有一种划分相带的方法，即将每一对磁极分为三个等分，则每相占120°电角度，也可以得到三相对称绕组。按120°相带排列的绕组称为120°相带绕组。由于60°相带绕组的合成电动势比120°相带绕组的合成电动势大，故除了单绕组变极多速异步电动机外，一般都采用60°相带绕组。

（12）极相组。将一个磁极下属于同一相（即一个相带）的 q 个线圈，按照一定方式串联成一组，称为极相组。

（13）并联支路数。每相绕组中包含若干个线圈组（或极相

组），这些线圈组可以按一定的方式连接（如串联、并联等），每相绕组能够并联所形成的支路数，称为并联支路数，用 a 表示（若每相绕组中的全部线圈组串联成一条支路时，则称并联支路数为 1，即 $a=1$），并联时要求每条支路的匝数和线径（即电磁线截面积）均应相同，即要求每条支路的阻抗相同，否则易造成环流，并导致电机绕组发热。

（14）每相绕组的串联匝数。一般将每相绕组中一条支路的匝数称为每相绕组的串联匝数。

（15）对称三相绕组。三相交流电机中，三相绕组的每相串联匝数及线径均相同（即三相绕组的阻抗均相同），相与相之间在空间分布间隔 120°电角度的三相绕组，称为对称三相绕组。

第 2 节　三相异步电动机的绕组

一、三相异步电动机定子绕组的分类

三相异步电动机定子绕组在定子铁心槽内嵌放的形式是多种多样的，一般有以下的分类方法：

（1）按定子铁心槽内线圈有效边层数分类，有单层绕组、双层绕组和单双层混合绕组三种。

（2）按每极每相槽数 q 分类，有整数槽绕组（q 为整数）和分数槽绕组（q 为分数）两种。

（3）按线圈形状和端部连接方式分类，双层绕组又可分为叠式绕组和波式绕组等；单层绕组又可分为同心式绕组、链式绕组和交叉式绕组等。

（4）按相带分类，有 60°相带绕组、120°相带绕组等。

三相异步电动机定子绕组的分类、结构特点及应用范围见表 4－1。

二、单层绕组的特点

单层绕组是指定子铁心每个槽中仅嵌入一个有效边的绕组。单层绕组的线圈数目等于定子槽数的一半，即一个线圈占两个

槽。这种绕组的线圈数目最少、定子铁心槽中不需要层间绝缘、槽的利用率高、嵌线方便、节省工时。但它的感应电动势和磁动势波形比双层短距绕组稍差，导致电动机的性能稍差，故一般用于 10kW 以下的小功率电动机中。

表 4-1　　三相异步电动机定子绕组的分类

分类		结构特征	应用范围	优缺点
单层同心式	单层两平面同心式	一个线圈内套另一个小线圈，绕组端部分成两个平面	用于 2、4 极，功率在 30kW 以下的较小容量电机中	优点：嵌线方便，节铜，不易击穿 缺点：磁动势波形不够好，谐波分量较大
	单层三平面同心式	一个线圈内套一个小线圈，绕组端部分成三个平面		
单层链式		各线圈都为同一个节距	应用于 $q=2$ 的 4、6、8 极较小功率电机中	
单层交叉式		两组绕组节距不等，且一组为偶数，一组为奇数，线模尺寸不同	应用于 $q=3$、5、7 的 2、4、6 极较小功率电机中	
整数槽双层绕组		每极每相槽数等于整数。每个槽内的绕组都分两层，其间用绝缘材料隔开	应用于容量较大的电机中（一般为中心高 160mm 及以上的电机）	优点：磁动势波形好，谐波小，损耗低起动及运行性能都较好 缺点：嵌线工时较长
分数槽双层绕组		每极每相槽数不为整数。每个槽内的绕组分两层，之间用绝缘材料隔开		
单双层绕组		有的槽内为双层，有的槽内为单层，混合使用	一般用于 45kW 以下的小型电机中	兼有单层、双层优点并克服上述两者缺点

单层绕组有同心式、链式、交叉式等几种。

三、单层同心式绕组

单层同心式绕组的同一个线圈组中的各个线圈的节距大小不等，但彼此“同心”，其各个线圈按一定的规律串联在一起，如图4－2所示。由于组成线圈组的各个同心线圈的轴线互相重合，所以线圈可以同心放置，端部连线不相互交叉，易于排列整齐。

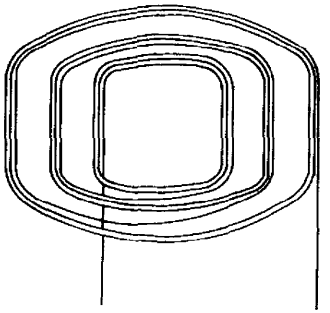


图4－2　同心式绕组示意图

单层同心式绕组按其端部的安放位置又可分为二平面同心式和三平面同心式，分别如图4－3和图4－4所示。同心式绕组由于线圈的节距大，且又长短不等，故较浪费电磁线。

四、单层链式绕组

单层链式绕组如图4－5所示，它是由节距相等而彼此之间像索链一样扣合在一起的线圈构成。单层链式绕组的线圈大小相同，绕制方便，线圈一般为短节距，可节省电磁线。

五、单层交叉式绕组

单层交叉式绕组主要用于每极每相槽数 $q=3$（或其他奇数），极数 $2p=4$ 或6的小型三相异步电动机。单层交叉式绕组的线圈节距有两种，其各节距的线圈端部的平均长度比单层同心式绕组的线圈端部平均长度短，故可节省电磁线，且便于布置。单层交叉式绕组如图4－6所示。

六、双层绕组的特点

双层绕组是指定子铁心槽内分上下两层嵌放两个有效边的绕组。线圈的一个有效边嵌放在某一个槽的上层，另一个有效边则嵌放在相隔 y 槽（y 为线圈节距）的下层。每个槽内上下两层之间必须用层间绝缘隔开。双层绕组的线圈数目恰好等于定子槽数。

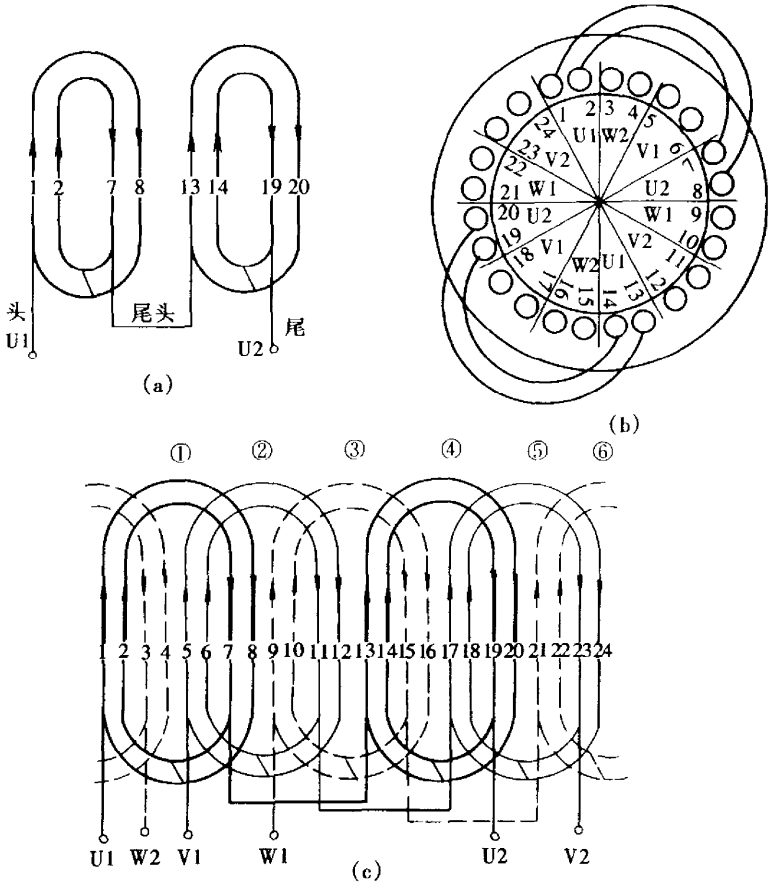


图 4-3　单层二平面同心式绕组（$Z_1 = 24$，$2p = 4$，$a = 1$）

（a）一相绕组展开图；（b）一相绕组端部示意图；（c）三相绕组展开图

双层绕组的优点是可以选用合适的短距绕组，来改善电动势和磁动势的波形，使之接近正弦波形，从而改善电动机的电气性能。而且采用短距绕组可以节省电磁线，也可以减小绕组的漏电抗。另外，双层绕组的所有线圈的形状、几何尺寸都相同，便于绕制，而且线圈端部排列整齐，有利于散热和增加机械强度。因此，一般较大功率的电动机多采用双层绕组。双层绕组的缺点是线圈的数目多（比单层绕组多一倍），嵌线费工时。另外，双层绕组有发生槽内相间击穿短路故障的可能性（因为有的定子铁心

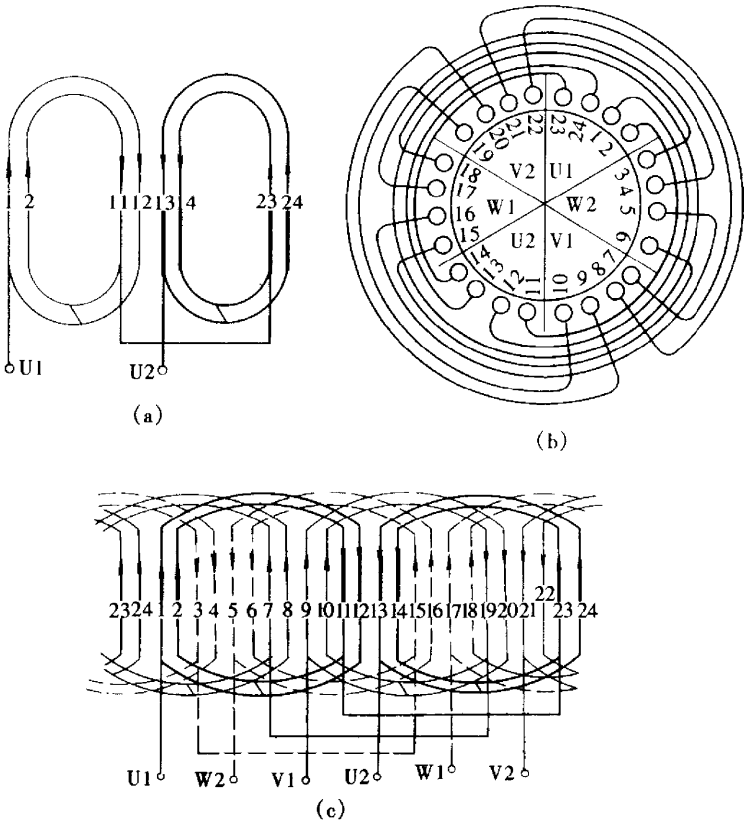


图 4－4　单层三平面同心式绕组（$Z_1 = 24$，$2p = 2$，$a = 1$）

（a）一相绕组展开图；（b）三相绕组端部示意图；（c）三相绕组展开图

槽内上下层有效边不属于同一相）。

根据线圈的形状和连接规律，双层绕组又可分为双层叠绕组和双层波绕组两类。图 4－7 是这两类绕组的线圈示意图。常见的中小型三相异步电动机大多采用双层叠绕组；而对于极数多、支路电流大的交流电机，为节约线圈组之间的连接线的用铜量，常采用双层波绕组。

七、双层叠绕组

双层叠绕组的特点是任何两个相邻的线圈，都是后一个线圈紧“叠”在前一个线圈上。三相双层叠绕组展开图如图 4－8 所

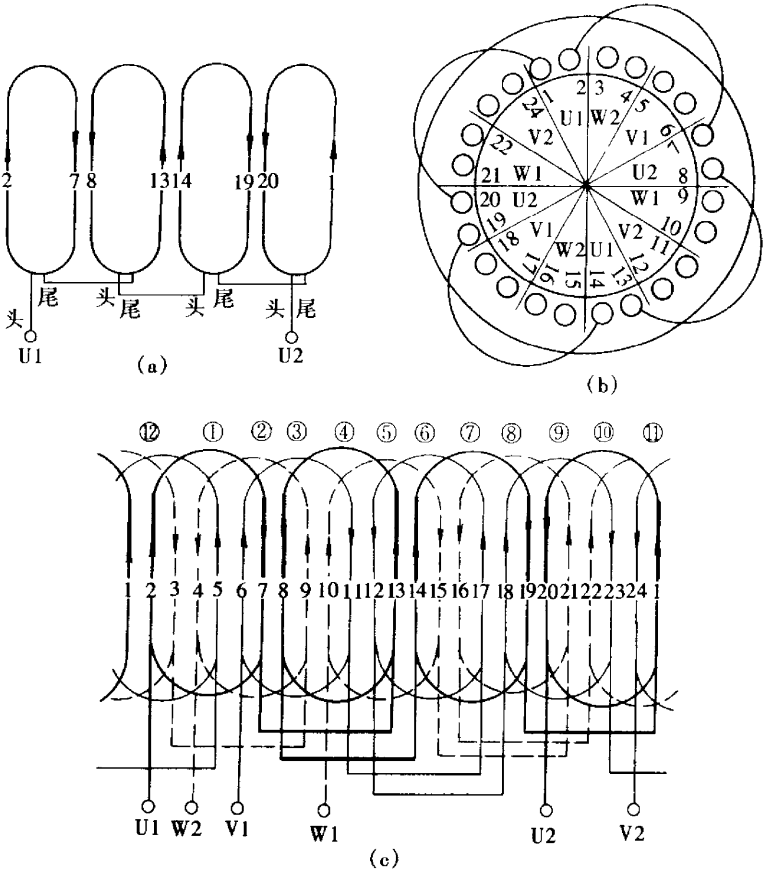


图 4－5　单层链式绕组（$Z_1 = 24$，$2p = 4$，$a = 1$）

（a）一相绕组展开图；（b）一相绕组端部示意图；（c）三相绕组展开图

示。在展开图中，一般将在定子铁心槽内位于上层的有效边用实线表示，位于下层的有效边则用虚线表示，每一个线圈都由一根实线和一根虚线组成。在双层叠绕组中，每一个极相组（又称线圈组）中的线圈都是依次串联的，不同磁极下的各个极相组之间视具体需要既可接成串联，亦可接成并联。

八、双层波绕组

双波绕组的特点是，任何两个相连接的线圈沿绕制方向像波浪似地前进。三相双层波绕组中一相绕组的展开图如图 4－9 所

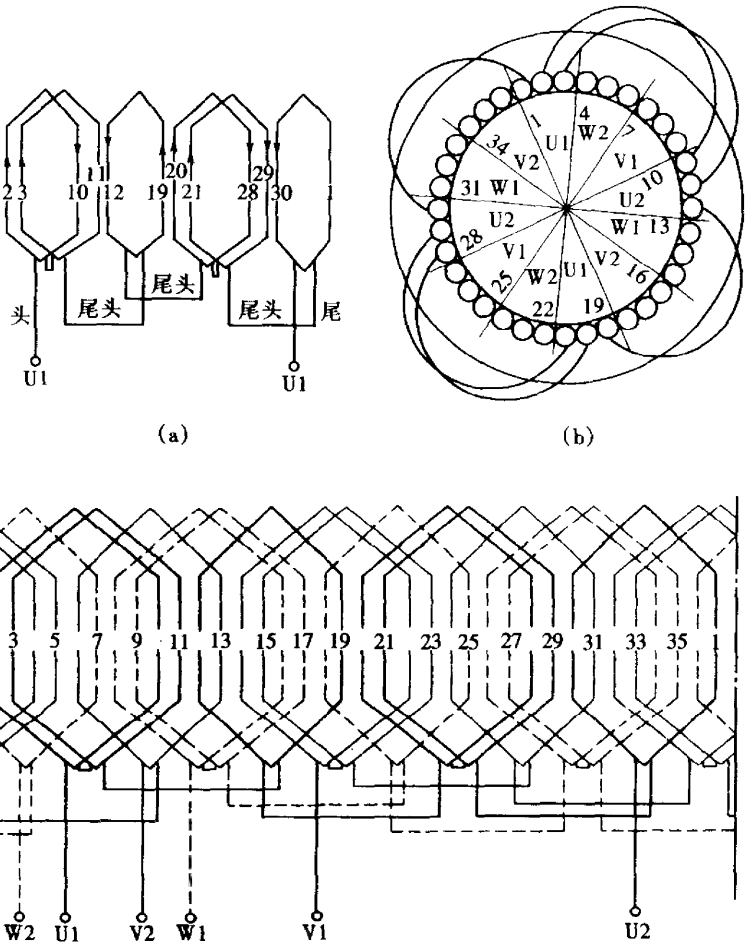


图 4－6　单层交叉式绕组（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$a = 1$）

（a）一相绕组展开图；（b）一相绕组端部示意图；（c）三相绕组展开图

示。波绕组的线圈一般是单匝的，波绕组的连接规律是，把所有同一种极性（例如 N1、N2…）下属于同一相的线圈按波浪形依次串联起来，组成一组；再把所有另一种极性（S1、S2…）下属于同一相的线圈按波浪形依次串联起来，组成另一组。最后把这两大组线圈根据需要接成串联或并联，以构成一相绕组。

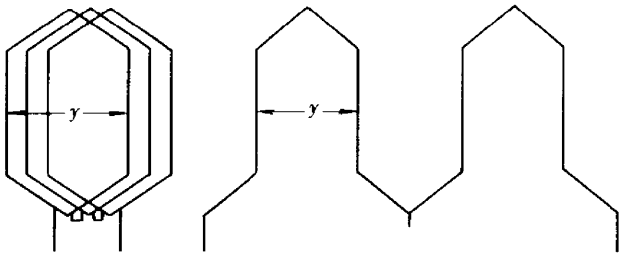


图 4－7　双层绕组示意图
（a）双层叠绕组；（b）双层波绕组

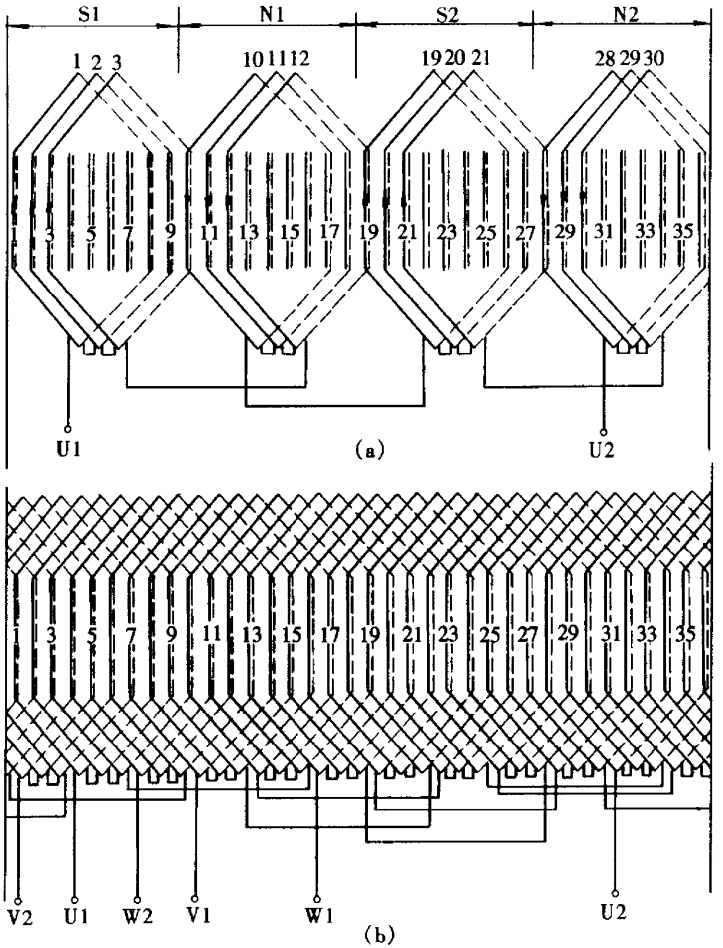


图 4－8　三相双层叠绕组展开图（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$a = 1$）
（a）一相绕组展开图；（b）三相绕组展开图

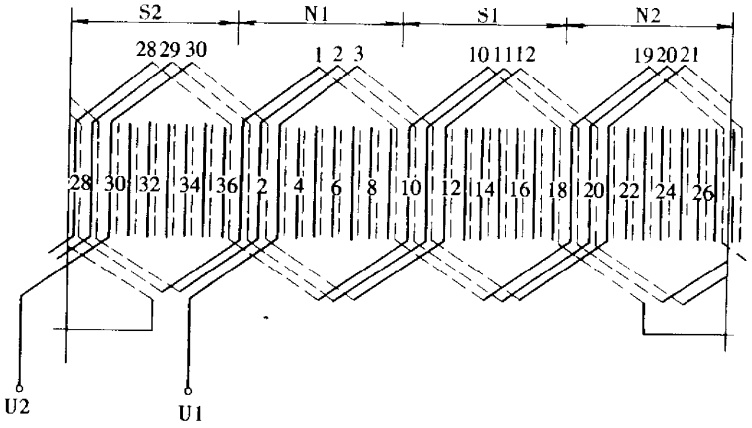


图 4－9　三相双层波绕组中一相绕组的展开图

（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$a = 1$）

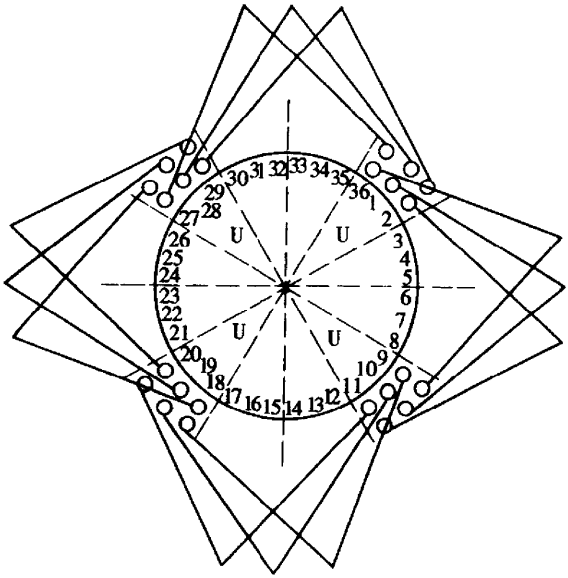


图 4－10　双层整距绕组中一相绕组的端部示意图

（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$y = 9$）

波绕组的优点是可以减少极相组之间的连接线，一般多用于水轮发电机的定子绕组和绕线转子三相异步电动机的转子绕组中。

九、单双层混合绕组

单双层混合绕组是在双层短距绕组的基础上演变过来的。以 $Z_1 = 36$、$2p = 4$、$q = 3$ 的三相异步电动机的定子绕组为例，如果是双层整距绕组，则节距 $y = 9$（即 $y = 1 \sim 10$ 槽），属于 U 相的线圈应如图 4 - 10 所示。

如果是双层短距绕组，假设取 $y = 8$（即 $y = 1 \sim 9$ 槽），则属于 U 相的线圈应如图 4 - 11 所示，它是由图 4 - 10 演变过来的，即各个线圈的上层边不动，而下层边逆时针方向移过一个槽。

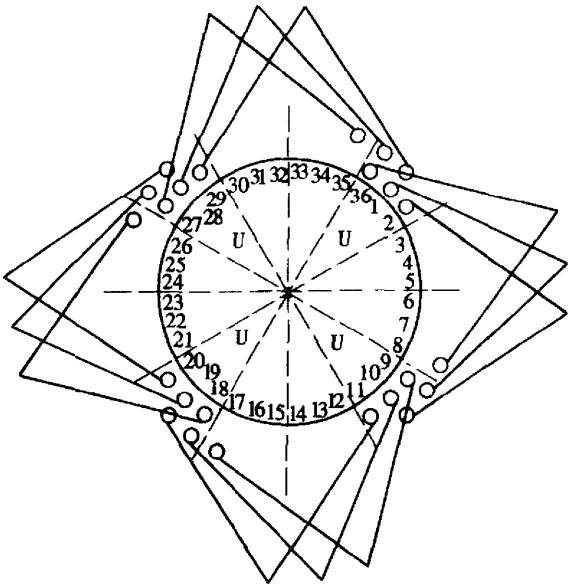


图 4 - 11　双层短距绕组中一相绕组的端部示意图

（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$y = 8$）

由图 4 - 11 可以看出，槽 36、1、9、10、18、19、27、28 中上下两层的导体都属于 U 相，因此可以把它们合并到一起，同时再把端部连接方法一改变，U 相绕组就可由图 4 - 11 演变到图

4 - 12。

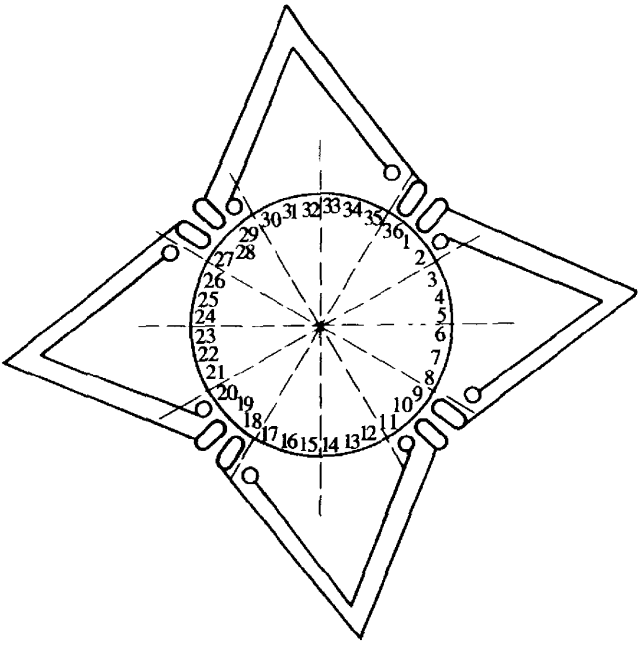


图 4 - 12　单双层混合绕组中一相绕组的端部示意图

$$(Z_1 = 36,\ 2p = 4,\ y = \frac{1-9}{2-8})$$

在图 4 - 12 中，4 个大线圈占满了整个槽，是单层绕组的型式；4 个小线圈一个有效边位于某一个槽的下层，而另一个有效边则位于另一个槽的上层，是双层绕组的型式，因此这是一种单双层混合绕组。

单双层混合绕组展开图如图 4 - 13 所示。由于单双层混合绕组是由双层短距绕组变换过来的，所以它具有双层短距绕组能够改善电机的电气性能的优点，同时它又有一部分线圈是单层绕组，这一部分单层绕组具有不需层间绝缘的优点。另外，由于单双层混合绕组中线圈的平均节距比较短，故可以节省电磁线。单双层混合绕组在工艺上的优点是线圈端部弯曲变形不大，易于嵌线。

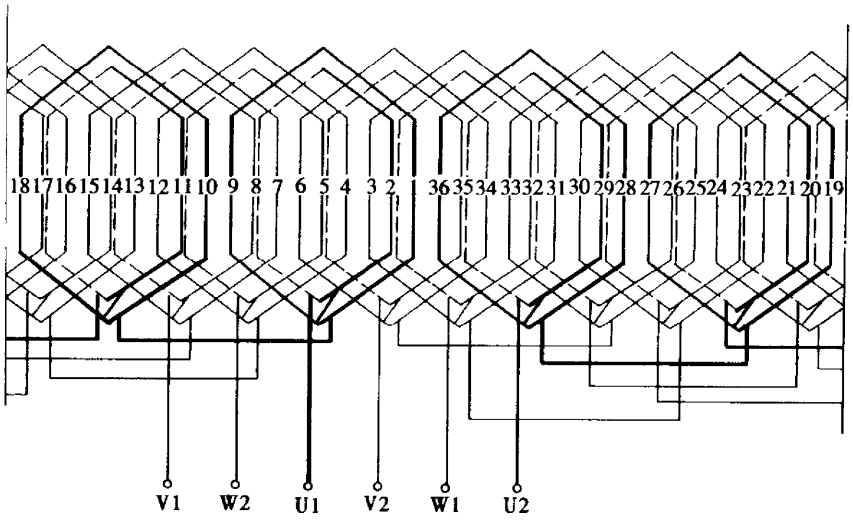


图 4－13　单双层混合绕组展开图

（$Z_1 = 36$，$2p = 4$，$a = 1$）

第 3 节　单相异步电动机的绕组

一、同心式绕组

单相异步电动机同心式绕组是由几个轴线重合而节距（又称跨距）不同的线圈串联组成的，每个线圈组中各个线圈具有相同的匝数。

由于电阻分相起动电动机和电容分相起动电动机的运行性能主要取决于主绕组（因为副绕组不参与运行），通常主绕组的线圈数目比副绕组的线圈数目多，而且主绕组线圈的匝数比副绕组线圈的匝数多、主绕组电磁线的截面积比副绕组电磁线的截面积大。

对于电容运转电动机和双值电容电动机，由于主、副绕组都参与运行，故两套绕组的线圈数目、线圈匝数及电磁线截面积均基本相同。

二、正弦绕组

正弦绕组一般都采用同心式绕组结构，但其特点是组成每一个极相组（线圈组）的各个线圈的匝数不相等。其具体要求是使属于同一相绕组的各槽内的导体数按正弦规律分布。这样，当同一相电流流过该相所有匝数不等的同心式线圈时，由于各槽中电流之和与槽内导体数成正比，故使槽电流分布也符合正弦波形，进而使绕组建立的磁场空间分布波形也接近正弦波形，所以称这种结构的绕组为正弦绕组。

图 4－14 是以百分数表示的正弦绕组各槽中导体分布图（图中将主绕组槽内导体数最多的作为 100%），与之对应的正弦绕组展开图如图 4－15 所示。当同一槽内嵌有主、副绕组两个线圈边时，一般将主绕组放置在槽的下层，将副绕组放置在槽的上层，上、下层之间应垫入层间绝缘。

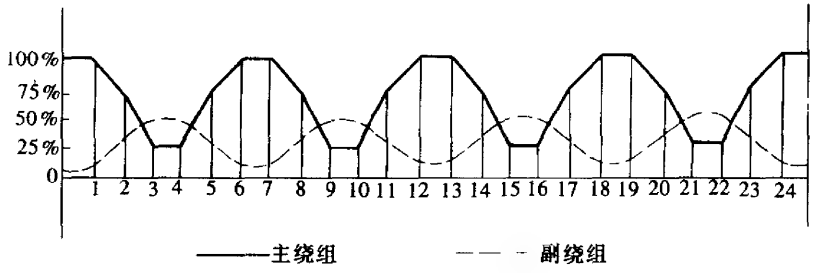


图 4－14　24 槽 4 极正弦绕组各槽导体分布图

在正弦绕组中，各个同心线圈的匝数是不相等的，每个槽内放置的线圈的匝数占每相每极总匝数的百分比可按有关公式计算，也可查表求得，表 4－2 为常用正弦绕组分布表。

正弦绕组的主要优点是：能显著地削弱高次谐波，使气隙磁场的分布尽可能地接近正弦波，从而降低杂散损耗和电磁噪声，提高效率，改善电动机的起动性能和运行性能。其缺点是：由于各线圈的匝数不同，使线圈绕制工艺复杂、费工时，有些槽的槽满率较低，降低了铁心的利用率。

表 4－2　　常用正弦绕组分布表

序号	绕组系数	每极槽数	每极绕组分布槽号																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0.75	3	50	50	50	50															
2	0.828	4	41.4	58.6		58.6	41.4														
3	0.856	6	57.7	42.3			42.3	57.7													
4	0.775	6	50	36.6	13.4	13.4	36.6	50													
5	0.915	6	36.6	63.4				63.4	36.6												
6	0.804	6	26.8	46.4	26.8		26.8	46.4	26.8												
7	0.912	8	54.2	45.8					45.8	54.2											
8	0.827	8	41.1	35.1	23.8			23.8	35.1	41.1											
9	0.950	8	35.2	64.8						64.8	35.2										
10	0.870	8	23.5	43.4	33.1				33.1	43.4	23.5										
11	0.796	8	19.9	36.8	28	15.3		15.3	28	36.8	19.9										
12	0.960	9	34.7	65.3							65.3	34.7									
13	0.893	9	22.7	42.6	34.7					34.7	42.6	22.7									

续表

序号	绕组系数	每极槽数	每极绕组分布																		
			槽号																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
14	0.820	9	18.5	34.7	28.3	18.5			18.5	28.3	34.7	18.5									
15	0.928	9	52.2	47.8						47.8	52.2										
16	0.856	9	39.5	34.8	25.7				25.7	34.8	39.5										
17	0.793	9	34.6	30.6	22.7	12.1		12.1	22.7	30.6	34.6										
18	0.959	12	51.8	48.2									48.2	51.8							
19	0.910	12	36.6	34.1	29.3							29.3	34.1	36.6							
20	0.855	12	29.9	27.8	24	18.3					18.3	24	27.8	29.9							
21	0.806	12	26.8	25	21.4	16.5	10.3			10.3	16.5	21.4	25	26.8							
22	0.783	12	25.9	24.1	20.7	15.9	10.0	3.4	3.4	10	15.9	20.7	24.1	25.9							
23	0.978	12	34.1	65.9										65.9	34.1						
24	0.936	12	21.4	41.4	37.2								37.2	41.4	21.4						
25	0.883	12	16.4	31.8	28.5	23.3						23.3	28.5	31.8	16.4						
26	0.829	12	14.1	27.3	24.5	20	14.1				14.1	20	24.5	27.3	14.1						

续表

序号	绕组系数	每极槽数	每极绕组分布																	
			槽号																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
27	0.790	12	13.2	25.4	22.8	18.6	13.2	6.8		6.8	13.2	18.6	22.8	25.4	13.2						
28	0.947	16	35.1	33.8	31.1											31.1	33.8	35.1			
29	0.910	16	27.6	26.5	24.5	21.4									21.4	24.5	26.5	27.6			
30	0.869	16	23.5	22.6	20.8	18.2	14.9							14.9	18.2	20.8	22.6	23.5			
31	0.829	16	21.1	20.4	18.7	16.4	13.4	10					10	13.4	16.4	18.7	20.4	21.1			
32	0.798	16	19.9	19.2	17.6	15.4	12.7	9.4	5.8			5.8	9.4	12.7	15.4	17.6	19.2	19.9			
33	0.963	16	20.8	40.8	38.4												38.4	40.8	20.8		
34	0.929	16	15.5	30.3	28.5	25.7										25.7	28.5	30.3	15.5		
35	0.889	16	12.7	24.9	23.4	21.1	17.9								17.9	21.1	23.4	24.9	12.7		
36	0.848	16	11.1	21.8	20.5	18.5	15.7	12.4						12.4	15.7	18.5	20.5	21.8	11.1		
37	0.812	16	10.3	20	18.9	17.2	14.4	11.3	7.9				7.9	11.3	14.4	17.2	18.9	20	10.3		

续表

序号	绕组系数	每极槽数	每极绕组分布																		
			槽号																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
38	0.927	18	27	26.2	24.6	22.2											22.2	24.6	26.2	27	
39	0.892	18	22.7	22	20.6	18.6	16.1									16.1	18.6	20.6	22	22.7	
40	0.855	18	20.1	19.5	18.2	16.5	14.2	11.5							11.5	14.2	16.5	18.2	19.5	20.1	
41	0.821	18	18.5	17.9	16.8	15.2	13.2	10.6	7.8					7.8	10.6	13.2	15.2	16.8	17.9	18.5	
42	0.795	18	17.6	17.1	16	14.5	12.5	10.2	7.5	4.6			4.6	7.5	10.2	12.5	14.5	16	17.1	17.6	
43	0.943	18	15.2	29.9	28.6	26.3												26.3	28.6	29.9	15.2
44	0.910	18	12.3	24.3	23.2	21.3	18.9										18.9	21.3	23.2	24.3	12.3
45	0.873	18	10.6	20.9	20	18.4	16.4	13.7								13.7	16.4	18.4	20	20.9	10.6
46	0.837	18	9.6	18.9	18.1	16.7	14.7	12.4	9.6						9.6	12.4	14.7	16.7	18.1	18.9	9.6
47	0.806	18	9.0	17.8	17	15.7	13.8	11.6	9.9	6.1				6.1	9.9	11.6	13.8	15.7	17	17.8	9.0

注 表中数字为各槽内同心线圈的匝数占每极总匝数的百分数。

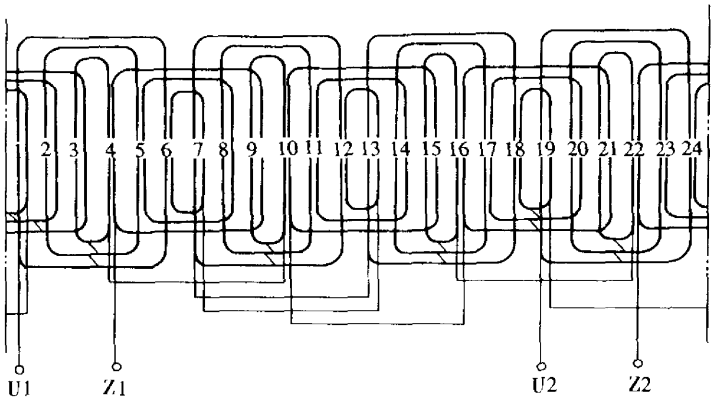


图 4　15　24 槽 4 极正弦绕组展开图

三、罩极式单相异步电动机的绕组

罩极式单相异步电动机按定子结构可分为凸极式和隐极式两种。

凸极式罩极单相异步电动机的主绕组是集中绕组，套在定子磁极上；副绕组是一个短路环，套在磁极极靴的一部分上，如图 3－13 所示。

隐极式罩极单相异步电动机的主、副绕组都是分布绕组，分别嵌放在定子铁心的槽内。为了保证电动机性能良好，应使主、

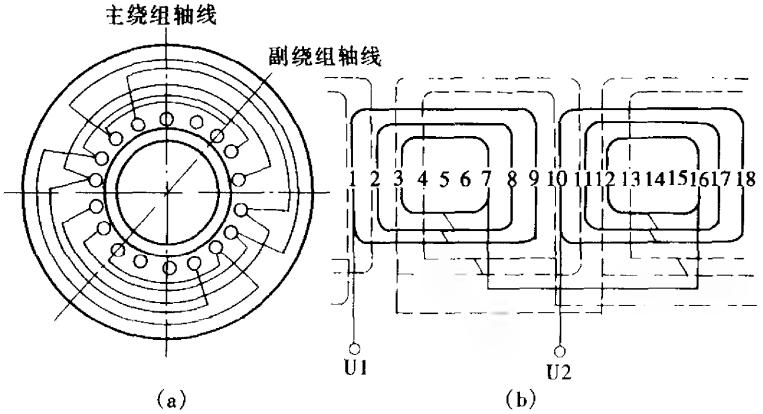


图 4－16　18 槽 2 极隐极式罩极单相异步电动机绕组展开图

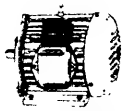
(a) 绕组位置示意图；(b) 绕组展开图

副绕组的轴线在空间相隔一定的电角度（一般为 40° ~ 60°）。其副绕组串联后自行短路，故称为罩极线圈。

隐极式罩极单相异步电动机定子绕组展开图如图 4 - 16 所示。为了改善电动机的起动性能和运行性能，隐极式罩极单相异步电动机的主绕组也可按正弦规律分布在各槽中。

隐极式罩极单相异步电动机的副绕组是闭合绕组，故其线圈的匝数很少（一般仅几匝），而其电磁线截面积很大。该绕组的线圈可以集中放在两个槽内，也可分散地嵌在较多的槽内。

异步电动机的使用与维修



第1节 异步电动机的使用

一、电动机的熔体的选择

熔体（或熔丝）的选择须考虑电动机的起动电流的影响，同时还应注意，各级熔体应互相配合，即下一级熔体应比上一级熔体小。选择原则如下。

1. 保护单台电动机的熔体的选择

由于笼型异步电动机的起动电流很大，故应保证在电动机的起动过程中熔体不熔断，而在电动机发生短路故障时又能可靠地熔断。因此，异步电动机的熔体的额定电流一般 可按下式计算

$$I_{RN} = (1.5 \sim 2.5) I_N$$

式中 I_{RN}——熔体的额定电流，A；

I_N——电动机的额定电流，A。

上式中的系数（1.5～2.5）应视负载性质和起动方式而选取。对轻载起动、起动不频繁、起动时间短或降压起动者，取较小值；对重载起动、起动频繁、起动时间长或直接起动者，取较大值。当按上述方法选择系数还不能满足起动要求时，系数可大于2.5，但应小于3。

2. 保护多台电动机的熔体的选择

当多台电动机应用在同一系统中，采用一个总熔断器时，熔体的额定电流可按下式计算

$$I_{RN} = (1.5 \sim 2.5) I_{Nm} + \Sigma I_N$$

式中 I_{RN}——熔体的额定电流，A；

I_{Nm}——起动电流最大的一台电动机的额定电流，A；

ΣI_N——除起动电流最大的一台电动机外，其余电动机的额定电流的总和，A。

根据上式求出一个数值后，可选取等于或稍大于此值的标准规格的熔体。

另外，在选择熔断器时应注意：熔断器的额定电流应大于或等于熔体的额定电流；熔断器的额定电压应大于或等于电动机的额定电压。

二、电动机起动前的准备和检查

1. 新安装或长期停用的电动机起动前的检查

(1) 用兆欧表（俗称摇表）检查电动机绕组之间及绕组对地（机壳）的绝缘电阻。通常对额定电压为 380V 的电动机，采用 500V 兆欧表测量，其绝缘电阻值不得小于 0.5MΩ，否则应进行烘干处理。

测量电动机绝缘电阻的方法如图 5－1 所示。测试前，应先对兆欧表进行校验，即将兆欧表测试端短路，再摇动手柄（每分钟 120 转左右），指针应指在“0”位置上；然后再将测试端开路，摇动手柄，指针应指在“∞”位置上。测量时，应将兆欧表平置放稳，摇动手柄的速度应均匀。

测量单相异步电动机的绝缘电阻时，应将电容器拆下（或短接），以防将电容器击穿。

(2) 按电动机铭牌的技术数据，检查电动机的额定功率是否合适，检查电动机的额定电压、额定频率与电源电压及频率是否相符。并检查电动机的接法是否与铭牌所标一致。

(3) 检查电动机轴承是否有润滑油，滑动轴承是否达到规定油位。

(4) 检查熔体的额定电流是否符合要求，起动设备的接线是否正确，起动装置是否灵活，有无卡住现象，触头的接触是否良好。使用自耦变压器减压起动时，还应检查自耦变压器抽头是否选得合适，自耦变压器减压起动器是否缺油，油质是否合格等。

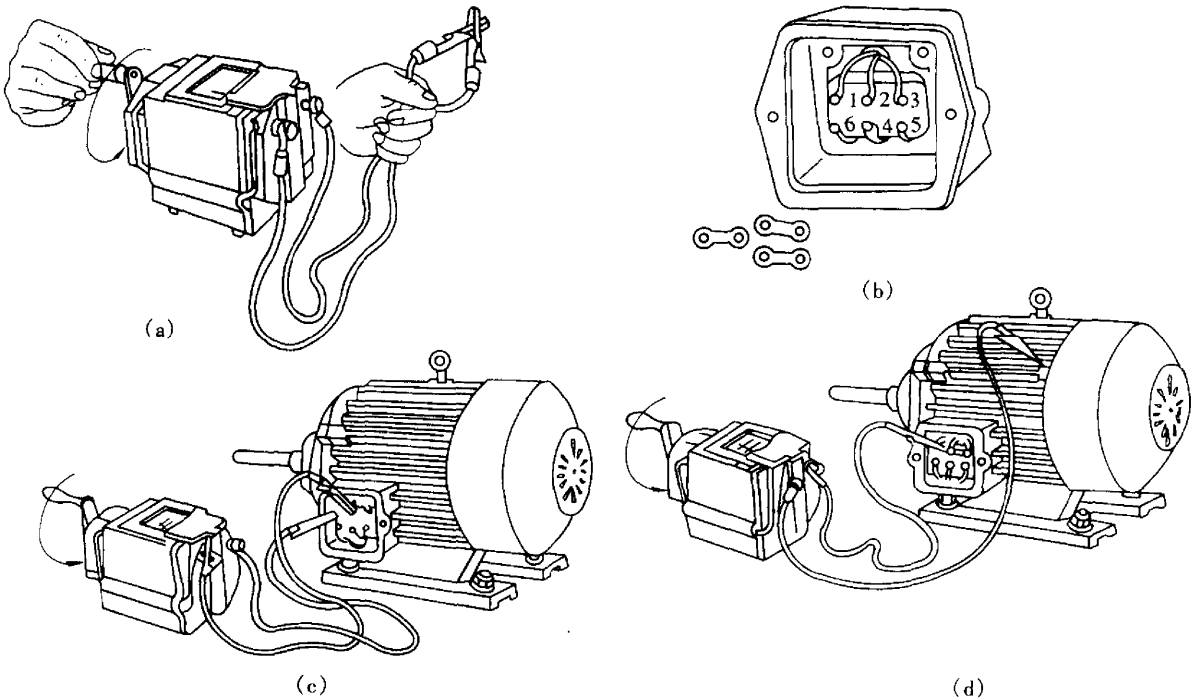


图 5－1　用兆欧表测量电动机的绝缘电阻

（a）校验兆欧表；（b）拆去电动机接线盒中的连接片；（c）测量电动机三相绕组之间的绝缘电阻；（d）测量电动机绕组对地（机壳）的绝缘电阻

(5) 检查电动机基础是否稳固，螺栓是否拧紧。

(6) 检查电动机机座、电源线钢管以及起动设备的金属外壳接地是否可靠。

(7) 对于绕线转子三相异步电动机，还应检查电刷及提刷装置是否灵活、正常。检查电刷与集电环接触是否良好，电刷压力是否合适。

以上检查工作结束后，还应按正常使用的电动机进行有关检查。

2. 正常使用的电动机起动前的检查

(1) 检查电源电压是否正常，三相电压是否平衡，电压是否过高或过低。

(2) 检查线路的接线是否可靠，熔体有无损坏。

(3) 检查联轴器的连接是否牢固，传动带连接是否良好，传动带松紧是否合适，机组传动是否灵活，有无摩擦、卡住、窜动等不正常的现象。

(4) 检查机组周围有无妨碍运行的杂物或易燃物品。

三、电动机起动时的注意事项

(1) 合闸起动前，应观察电动机及拖动机械上或附近是否有异物，以免发生人身及设备事故。

(2) 操作开关或起动设备时，操作人员应站在开关的侧面，以防被电弧烧伤。拉合闸动作应迅速、果断。

(3) 合闸后，如果电动机不转或转速很慢，声音不正常时，应迅速切断电源，检查熔丝及电源接线等是否有问题。绝不能合闸后等待或带电检查，否则会烧毁电动机或发生其他事故。

(4) 电动机连续起动的次数不能过多，电动机空载连续起动的次数一般不能超过 3～5 次；经长时间运行，处过热状态下的电动机，连续起动次数一般不能超过 2～3 次。否则容易烧毁电动机。

(5) 采用星—三角起动或自耦变压器减压起动时，若用手动进行延时控制，应注意起动操作顺序和合理控制延时时间。

(6) 应避免多台电动机同时起动，以防线路上总起动电流过大，导致电网电压下降太多，影响其他用电设备正常运行。

四、电动机运行中的监视

对正常运行的异步电动机，应经常保持清洁，不允许有水滴、油滴或杂物落入电动机内部；应监视其运行中的电压、电流、温升及可能出现的故障现象，并针对具体情况进行处理。

(1) 电源电压的监视。异步电动机长期运行时，一般要求电源电压不高于额定电压的10%，不低于额定电压的5%，三相电压不对称的差值也不应超过额定值的5%，否则应减载运行或调整电源电压。

(2) 电动机电流的监视。电动机的电流不得超过铭牌上规定的额定电流，同时还应注意三相电流是否平衡。当三相电流不平衡的差值超过10%时，应停机处理。

(3) 电动机温升的监视。监视温升是监视电动机运行状况的直接可靠的方法。当电动机的电压过低、过载运行、两相运行(俗称单相运行)、定子绕组短路时，都会使电动机的温度不正常地升高。

所谓温升，是指电动机的运行温度与环境温度（或冷却介质温度）的差值。例如环境温度（即电动机未通电的冷态温度）为30℃，运行后电动机的温度为100℃，则电动机的温升为70℃。电动机的温升限值与电动机所用绝缘材料的绝缘等级有关。

没有温度计时，可在确定电动机外壳不带电后，用手背去试电动机外壳温度。若手能在外壳上停留而不觉得很烫，说明电动机未过热；若手不能在外壳上停留，则说明电动机已过热。

(4) 电动机运行中故障现象的监视。对运行中的异步电动机，应经常观察其外壳有无裂纹，螺钉（栓）是否有脱落或松动；电动机有无异响或振动等。监视时，要特别注意电动机有无冒烟或异味出现，若嗅到焦糊味或看到冒烟，必须立即停机处理。

对轴承部位，要注意轴承的声响和发热情况。当用温度计法

测量时，滚动轴承温度不允许超过95℃，滑动轴承温度不允许超过80℃。轴承声音不正常或过热，一般是轴承润滑不良、轴承磨损严重或传动带过紧等所致。

对于联轴器传动的电动机，若中心校正不好，会在运行中发出异常响声，并导致电动机振动及联轴器螺栓、胶垫的迅速磨损。这时应重新校正中心线。

对于带传动的电动机，应注意传动带不应过松而导致打滑，但也不能过紧而使电动机的轴承过热。

对于绕线转子异步电动机，还应经常检查电刷与集电环（滑环）的接触及电刷磨损、压力、火花等情况。如发现火花严重，应及时修整集电环表面，调整电刷弹簧的压力。

另外，还应经常检查电动机及开关外壳是否漏电或接地不良。用验电笔检查发现带电时，应立即停机处理。

五、异步电动机的定期维修

在电动机的运行过程中，除了要加强日常维护外，为了保证电动机的安全运转和延长电动机的使用寿命，还应进行定期维修。定期维修可分为定期小修和定期大修两种。前者不需拆开电动机，后者需把电动机全部拆开进行维修。

1. 定期小修

定期小修是对电动机的一般清理和检查，应经常进行。小修主要项目见表5－1。

表5－1　　电动机定期小修检查项目表

项　目	检查内容
清理电动机	1. 清除电动机外部的污垢 2. 测量绝缘电阻 3. 检查电动机外壳、风扇、风罩等有无损伤
检查和清理电动机接线部分	1. 清理接线盒污垢 2. 检查接线部分螺钉是否松动、损坏 3. 拧紧各连接点 4. 检查接地是否可靠

续表

项　目	检 查 内 容
检查各紧固部分螺钉和接地线	1. 检查地脚螺栓是否紧固 2. 检查电动机端盖、轴承盖等螺钉是否紧固
检查传动装置	1. 检查传动装置是否可靠，传动带松紧是否适中 2. 检查传动装置是否良好，有无损坏
检查轴承	1. 检查轴承是否缺油，有无漏油 2. 检查轴承有无噪声及磨损情况
检查和清理起动设备	1. 清除外部污垢，检查触头有否烧伤 2. 检查接地是否可靠，测量绝缘电阻 3. 检查三相触头是否同时接触

2. 定期大修

定期大修应结合负载机械的大修进行。农用电动机应结合农时，每年冬季进行一次。对于工作环境灰尘多、潮湿、经常使用的电动机，应适当增加大修次数。大修主要项目见表 5-2。

表 5－2　　电动机定期大修检查项目表

项　目	检 查 内 容
清理电动机及起动设备	1. 清除电动机表面及内部各部分的油泥和污垢 2. 清洗电动机轴承 3. 检查各零部件是否齐全，有无磨损
检查电动机绕组有无故障	1. 检查绕组有无接地、短路、断路现象 2. 检查转子有无断路 3. 检查绝缘电阻是否符合要求
检查电动机定、转子铁心是否相擦	1. 检查定、转子铁心有无松动或其他缺陷 2. 检查定、转子铁心是否有相擦痕迹，如有应修正
检查控制电器和测量仪表及保护装置	1. 检查控制电器触点是否良好，接线是否紧密可靠 2. 检查各种仪表是否良好 3. 检查保护装置动作是否正确可靠
检查传动装置	1. 检查联轴器是否牢固 2. 检查连接螺钉有无松动 3. 检查传动带松紧程度是否合适，齿轮啮合是否良好

续表

项　目	检 查 内 容
试车检查	1. 测量绝缘电阻是否符合要求 2. 检查安装是否牢固 3. 检查各转动部分是否灵活 4. 检查电压、电流是否正常 5. 检查是否有不正常的振动和噪声

对拆开的电动机和起动设备进行清理时，要注意观察绕组绝缘情况。若绝缘为暗褐或深棕色，说明绝缘已经老化，对这种绝缘应特别注意不要碰撞使它脱落，若发现有脱落应进行局部绝缘修复和刷漆。

第2节　异步电动机的常见故障及其排除方法

异步电动机的故障是多种多样的，同一故障可能有不同的表面现象，而同样的表面现象也可能由不同的原因引起。因此，应认真分析，准确判断，及时排除。

一、三相异步电动机的常见故障及其排除方法（见表5-3）

表5-3　　三相异步电动机的常见故障及其排除方法

常见故障	可 能 原 因	排 除 方 法
电动机空载不能起动	1. 熔丝熔断 2. 三相电源线或定子绕组中有一相断线 3. 刀开关或起动设备接触不良 4. 定子三相绕组的首尾端错接 5. 定子绕组短路 6. 转轴弯曲 7. 轴承严重损坏 8. 定子铁心松动 9. 电动机端盖或轴承盖组装不当	1. 更换同规格熔丝 2. 查出断线处，将其接好、焊牢 3. 查出接触不良处，予以修复 4. 先将三相绕组的首尾端正确辨出，然后重新连接 5. 查出短路处，增加短路处的绝缘或重绕定子绕组 6. 校正转轴 7. 更换同型号轴承 8. 先将定子铁心复位，然后固定 9. 重新组装，使转轴转动灵活

续表

常见故障	可 能 原 因	排 除 方 法
电动机不能满载运行或起动	1. 电源电压过低 2. 电动机带动的负载过重 3. 将三角形连接的电动机误接成星形连接 4. 笼型转子导条或端环断裂 5. 定子绕组短路或接地 6. 熔丝松动 7. 刀开关或起动设备的触点损坏，造成接触不良	1. 查明原因，待电源电压恢复正常后再使用 2. 减少所带动的负载，或更换大功率电动机 3. 按照铭牌规定正确接线 4. 查出断裂处，予以焊接修补或更换转子 5. 查出绕组短路或接地处，予以修复或重绕 6. 拧紧熔丝 7. 修复损坏的触头或更换为新的开关设备
电动机三相电流不平衡	1. 三相电源电压不平衡 2. 重绕线圈时，使用的漆包线的截面积不同或线圈的匝数有错误 3. 重绕定子绕组后，部分线圈接线错误 4. 定子绕组有短路或接地 5. 电动机“单相”运行	1. 查明电压不平衡的原因，予以排除 2. 使用同规格的漆包线绕制线圈，更换匝数有错误的线圈 3. 查出接错处，并改接过来 4. 查出绕组短路或接地处，予以修复或重绕 5. 查出线路或绕组断线或接触不良处，并重新焊接好
电动机的温度过高	1. 电源电压过高 2. 欠电压满载运行 3. 电动机过载 4. 电动机环境温度过高 5. 电动机通风不畅 6. 定子绕组短路或接地 7. 重绕定子绕组时，线圈匝数少于原线圈匝数，或导线截面积小于原导线截面积 8. 定子绕组接线错误 9. 电动机受潮或浸漆后未烘干 10. 多支路并联的定子绕组，其中有一路或几路绕组断路 11. 在电动机运行中有一相熔丝熔断 12. 定、转子铁心相互摩擦（又称扫膛）	1. 调整电源电压或待电压恢复正常后再使用电动机 2. 提高电源电压或减少电动机所带动的负载 3. 减少电动机所带动的负载或更换大功率的电动机 4. 更换特殊环境使用的电动机或降低环境温度，或降低电动机的容量使用 5. 清理通风道里淤塞的泥土；修理被损坏的风叶、风罩；搬开影响通风的物品 6. 查出短路或接地处，增加绝缘或重绕定子绕组 7. 按原数据重新改绕线圈 8. 按接线图重新接线 9. 重新对电动机进行烘干后再使用 10. 查出断路处，接好并焊牢 11. 更换同规格熔丝 12. 查明原因，予以排除，或更换为新轴承

续表

常见故障	可能原因	排除方法
轴承过热	1. 装配不当使轴承受外力 2. 轴承内无润滑油 3. 轴承的润滑油内有铁屑、灰尘或其他脏物 4. 电动机转轴弯曲，使轴承受到外界应力 5. 传动带过紧	1. 重新装配电动机的端盖和轴承盖，拧紧螺钉，合严止口 2. 适量加入润滑油 3. 用汽油清洗轴承，然后注入新润滑油 4. 校正电动机的转轴 5. 适当放松传动带
电动机起动时熔丝熔断	1. 定子三相绕组中有一相绕组接反 2. 定子绕组短路或接地 3. 工作机械被卡住 4. 起动设备操作不当 5. 传动带过紧 6. 轴承严重损坏 7. 熔丝过细	1. 分清三相绕组的首尾端，重新接好 2. 查出绕组短路或接地处，增加绝缘，或重绕定子绕组 3. 检查工作机械和传动装置是否转动灵活 4. 纠正操作方法 5. 适当调整传动带 6. 更换为新轴承 7. 合理选用熔丝
运行中产生剧烈振动	1. 电动机基础不平或固定不紧 2. 电动机和被带动的工作机械轴心不在一条线上 3. 转轴弯曲造成电动机转子偏心 4. 转子或带轮不平衡 5. 转子上零件松弛 6. 轴承严重磨损	1. 校正基础板，拧紧底脚螺栓，紧固电动机 2. 重新安装，并校正 3. 校正电动机转轴 4. 校正平衡或更换为新品 5. 紧固转子上的零件 6. 更换为新轴承
运行中产生异常噪声	1. 电动机“单相”运行 2. 笼型转子断条 3. 定、转子铁心硅钢片过于松弛或松动 4. 转子摩擦绝缘纸 5. 风叶碰壳	1. 查出断相处，予以修复 2. 查出断路处，予以修复，或更换转子 3. 压紧并固定硅钢片 4. 修剪绝缘纸 5. 校正风叶
起动时保护装置动作	1. 被驱动的工作机械有故障 2. 定子绕组或线路短路 3. 保护动作电流过小 4. 熔丝选择过小 5. 过载保护时限不够	1. 查出故障，予以排除 2. 查出短路处，予以修复 3. 适当调大 4. 按电动机规格选配适当的熔丝 5. 适当延长

续表

常见故障	可能原因	排除方法
绝缘电阻降低	1. 潮气侵入或雨水进入电动机内 2. 绕组上灰尘、油污太多 3. 引出线绝缘损坏 4. 电动机过热后，绝缘老化	1. 进行烘干处理 2. 清除灰尘、油污后，进行浸渍处理 3. 重新包扎引出线 4. 根据绝缘老化程度，分别予以修复或重新浸渍处理
机壳带电	1. 引出线与接线板接头处的绝缘损坏 2. 定子铁心两端的槽口绝缘损坏 3. 定子槽内有铁屑等杂物未除尽，导线嵌入后即造成接地 4. 外壳没有可靠接地	1. 应重新包扎绝缘或套一绝缘管 2. 仔细找出绝缘损坏处，然后垫上绝缘纸，再涂上绝缘漆并烘干 3. 拆开每个线圈的接头，用淘汰法找出接地的线圈，进行局部修理 4. 将外壳可靠接地

二、分相式单相异步电动机的常见故障及其排除方法（见表5－4）

表5－4　分相式单相异步电动机的常见故障及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
电源电压正常，通电后电动机不能起动	1. 电动机引出线或绕组断路 2. 离心开关的触点闭合不上 3. 电容器短路、断路或电容量不足 4. 轴承严重损坏 5. 电动机严重过载 6. 转轴弯曲	1. 认真检查引出线、主绕组和副绕组，将断路处重新焊接好 2. 修理触点或更换离心开关 3. 更换与原规格相符的电容器 4. 更换新轴承 5. 检查负载，找出过载原因，采取适当措施消除过载状况 6. 将弯曲部分校直或更换转子
电动机空载能起动或在外力帮助下能起动，但起动迟缓且转向不定	1. 副绕组断路 2. 离心开关的触点闭合不上 3. 电容器断路 4. 主绕组断路	1. 查出断路处，并重新焊接好 2. 检修调整触点或更换离心开关 3. 更换同规格电容器 4. 查出断路处，并重新焊接好

续表

常见故障	可能原因	排除方法
电动机转速低于正常转速	1. 主绕组短路 2. 起动后离心开关触点断不开，副绕组没有脱离电源 3. 主绕组接线错误 4. 电动机过载 5. 轴承损坏	1. 查出短路处，予以修复或重绕 2. 检修调整触点或更换离心开关 3. 查出接错处并更正 4. 查出过载原因并消除 5. 更换新轴承
起动后电动机很快发热，甚至烧毁	1. 主绕组短路或接地 2. 主绕组与副绕组之间短路 3. 起动后，离心开关的触点断不开，使起动绕组长期运行而发热，甚至烧毁 4. 主副绕组相互接错 5. 电源电压过高或过低 6. 电动机严重过载 7. 电动机环境温度过高 8. 电动机通风不畅 9. 电动机受潮或浸漆后未烘干 10. 定、转子铁心相摩擦或轴承损坏	1. 重绕定子绕组 2. 查出短路处予以修复或重绕定子绕组 3. 检修调整离心开关的触点或更换离心开关 4. 检查主副绕组的接线，将接错处予以纠正 5. 查明原因，待电源电压恢复正常以后再使用 6. 查出过载原因并消除 7. 应降低环境温度或降低电动机的容量使用 8. 清理通风道，修复被损坏的风叶、风罩 9. 重新进行烘干处理 10. 查出相摩擦的原因，予以排除或更换轴承

三、罩极式单相异步电动机的常见故障及其排除方法（见表5-5）

表5-5　罩极式单相异步电动机的常见故障及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
通电后电动机不能起动	1. 电源线或定子主绕组断路 2. 短路环断路或接触不良 3. 罩极绕组断路或接触不良 4. 主绕组短路或被烧毁 5. 轴承严重损坏 6. 定转子之间的气隙不均匀 7. 装配不当，使轴承受外力 8. 传动带过紧	1. 查出断路处，并重新焊接好 2. 查出故障点，并重新焊接好 3. 查出故障点，并焊接好 4. 重绕定子绕组 5. 更换新轴承 6. 查明原因，予以修复。若转轴弯曲应校直 7. 重新装配，上紧螺钉，合严止口 8. 适当放松传动带

续表

常见故障	可能原因	排除方法
空载时转速太低	1. 小型电动机的含油轴承缺油 2. 短路环或罩极绕组接触不良	1. 填充适量润滑油 2. 查出接触不良处，并重新焊接好
负载时转速不正常或难于起动	1. 定子绕组匝间短路或接地 2. 罩极绕组绝缘损坏 3. 罩极绕组的位置、线径或匝数有误	1. 查出故障点，予以修复或重绕定子绕组 2. 更换罩极绕组 3. 按原始数据重绕罩极绕组
运行中产生剧烈振动和异常噪声	1. 电动机基础不平或固定不紧 2. 转轴弯曲造成电动机转子偏心 3. 转子或皮带轮不平衡 4. 转子断条 5. 轴承严重缺油或损坏	1. 校正基础板，拧紧底脚螺钉，紧固电动机 2. 校正电动机转轴或更换转子 3. 校平衡或更换新品 4. 查出断路处，予以修复或更换转子 5. 清洗轴承，填充新润滑油或更换轴承
绝缘电阻降低	1. 潮气侵入或雨水进入电动机内 2. 引出线的绝缘损坏 3. 电动机过热后，绝缘老化	1. 进行烘干处理 2. 重新包扎引出线 3. 根据绝缘老化程度，分别予以修复或重新浸渍处理

第3节　异步电动机定子绕组常见故障的检修

一、定子绕组绝缘电阻下降的检修

电动机长期在恶劣的环境中使用或停放，会受到潮湿空气、水滴、灰尘、油污、腐蚀性气体等的侵袭，将导致绝缘电阻下降。在使用前，若不及时检查修理，贸然通电运行，有可能引起电动机绕组击穿烧毁。

引起绕组绝缘电阻下降的直接原因，除一部分是绝缘老化

外，主要是受潮。若绕组受潮（绝缘电阻在0.5MΩ以下），可将电动机两边端盖拆除，把电动机放在烘干室（箱）内烘干，或采用其他方法烘干，直到绝缘电阻达到要求时即可。或再加浇一层绝缘漆，以防止返潮。

二、定子绕组接地故障的检修

定子绕组接地（俗称漏电）是指定子绕组与机壳直接接通，使机壳带电。造成绕组接地的原因可能是电动机运行中发热、振动、受潮等使绕组绝缘性能变坏，当通电时绕组绝缘被击穿；也可能是由于定、转子铁心相擦（扫膛）产生高温使绕组绝缘炭化造成短路；或可能是绕组重绕后，嵌线时，槽内绝缘被铁心毛刺刺破，或在嵌线、整形时槽口绝缘被压裂，使绕组碰触铁心；还可能是因绕组端部过长，与端盖相碰等。

检查绕组接地故障可采用万用表（电阻档）或兆欧表按图5－1所示的方法逐相进行，也可按图5－2所示串联灯泡的方法逐相进行。检查时，若发现万用表或兆欧表的电阻为零，或灯泡发亮，则该相有接地故障。有的电动机接地短路严重，接地点有大电流烧焦的痕迹，那就可以一目了然。否则，应采取分组淘汰法找出接地故障点，即先将有接地故障的那一相绕组从中间拆开，确诊接地点在该相哪一半绕组中。查出后，再把有接地故障的半个相绕组从中间拆开，直至某个线圈组或线圈，最后找出接地故障点。

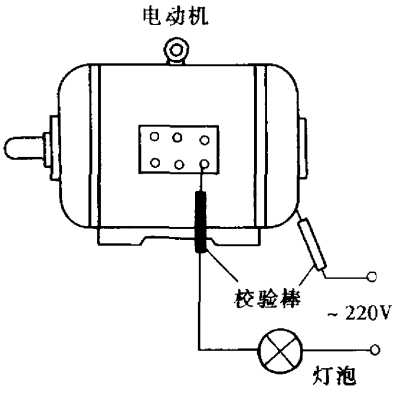


图5－2　用串联灯泡法检查定子绕组的接地故障

对接地故障的修理，应视不同情况而定。若绕组绝缘老化变质，必须重换；若是绕组端部或引线接地，可重新包扎好局部绝缘；若接地点在槽口附近，可将绕组加热软化，用划线板撬开槽

绝缘，插入大小适当的绝缘材料；如果线圈在槽内部接地，则需要更换该线圈或整个绕组。

三、定子绕组短路故障的检修

造成绕组短路的原因通常是电动机长期处于过电压、欠电压、过载或两相运行（单相运行）状态；机械性损伤、绝缘老化、使用或维修中碰伤绝缘等。绕组短路将使各相绕组串联匝数不等，三相电流不平衡，磁场分布不均匀。致使电动机运行时振动加剧、噪声增大、温升偏高，甚至烧毁定子绕组。

绕组短路有三种形式：匝间短路（同一只线圈内电磁线之间短路）、极相组（线圈组）短路（一个线圈组的引出线之间或线圈之间短路）、相间短路（异相绕组之间发生短路）。

绕组短路故障的检查方法，通常有以下几种。

1. 外观检查法

仔细观察定子绕组有无烧灼的痕迹，如有烧焦的地方，则该处存在短路故障。如果故障点不明显，可使电动机通电，运行几分钟后，迅速拆开端盖，用手探测，凡是发生短路的地方，温度比其他地方都高。

2. 电流平衡法

使电动机空载运转，用钳形电流表或其他电流表分别测量三相绕组中的电流。当三相电压和三相绕组都对称时，三相空载电流应该是平衡的。若测得某相绕组电流偏大，再将三相电源相序交换后重测，如该相绕组电流仍偏大，则证明该相绕组有短路故障。

3. 短路侦察器法

短路侦察器是利用变压器原理来检查绕组匝间短路的。其铁心用 H 形硅钢片叠压而成，凹槽中绕有线圈，可接 220V 交流电源使用。

用短路侦察器检查定子绕组采用多路并联的电动机时，应先把各并联支路拆开；定子绕组若是三角形（△）接法时，△也应拆开，使绕组内不存在环流通路。否则会因存在环流而无法分清

哪一个是短路线圈。

用短路侦察器检查绕组匝间短路的方法如图 5－3 所示。将已接通交流电源并串有电流表的短路侦察器的开口部分放在被检查的定子铁心的槽口上，如图 5－3（a）所示。这样侦察器与定子的一部分就构成一个变压器，侦察器的铁心和定子铁心构成变压器的磁路，侦察器的线圈相当于变压器的一次绕组，而被检查的定子铁心槽内的线圈相当于变压器的二次绕组。将侦察器沿定子铁心内圆逐槽移动，当它经过无故障的线圈时，相当于变压器二次侧开路，电流表示值很小。当它经过短路线圈时，相当于变压器二次侧短路，此时电流表的读数将很大。故可检查出有短路故障的线圈。

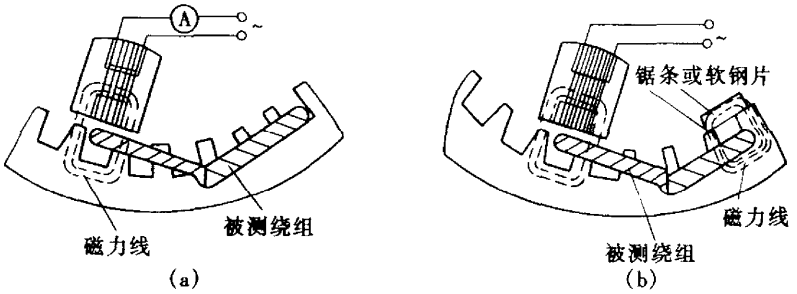


图 5－3　用短路侦察器检查定子绕组的匝间短路

（a）用电流表检查；（b）用钢片检查

如果没有电流表，可用一根废锯条或软钢片放在被测线圈的另一个线圈边所在的槽口上面，若被测线圈有短路故障，线圈中就会有感应电流，线圈周围将产生交变磁场，则钢片会被定子铁心吸引，而且发出振动声，如图 5-3（b）所示，否则钢片不振动。将短路侦察器沿定子铁心内圆逐槽移动，同时也相应地移动钢片，并保持一定的距离，这样便可检查定子绕组的全部线圈。

4. 电阻法

利用电桥或万用表低电阻档，将电动机接线盒中三相绕组的接头连接片拆去，如图 5－1（b）所示，分别测量各相绕组的冷

态直流电阻。直流电阻小的一相绕组有短路故障。若要具体判断是哪个线圈组或线圈有短路，可在电桥引线或万用表表笔上连上一根针，分别刺入线圈组（或线圈）各接头处进行测量，凡是电阻明显小的线圈组（或线圈）多有短路存在。

用电阻法检查绕组的相间短路故障时，使用兆欧表更为方便，检查方法如图 5－1（c）所示。以 120r/min 的转速摇动手柄，指针稳定的位置，即示出被测两相绕组之间的绝缘电阻值。若该电阻值明显小于正常值或为零，则有相间绝缘不良或短路故障。

5. 电压降法

对有短路故障的相绕组通以低压交流电或直流电，将万用表置于相应交流电压档，或直流电压档，把两只表笔各连上一根针，分别刺入每个线圈组（或线圈）的首尾连接线中，测量各线圈组（或线圈）两端的电压降。若测得某线圈组（或线圈）的电压降小，则该线圈组（或线圈）内有短路故障。

在查出短路故障之后，如果可以看出明显的短路点，且该线圈损坏不严重，可先对其加热，使绝缘物软化，用划线板撬起电磁线，垫入绝缘材料，并趁热浇上绝缘漆，烘干即可。如果短路较严重，就必须拆下重绕；若一个或几个线圈短路，但大多数线圈完好时，不必全部拆换绕组，可用穿线法拆换坏线圈。

穿线法的具体步骤如下：先把绕组加热，使绝缘物软化，然后将其线圈端部剪断，取出坏线圈。拆出坏线圈的过程中，应注意不要弄伤相邻线圈的绝缘。将坏线圈拆除后，应清理铁心槽，换上新绝缘，或只在原槽绝缘上加一层聚脂薄膜即可。然后把电磁线穿绕到原来的匝数。穿线时，一般将电磁线按坏线圈总长加适当余量，从总长的中间开始穿线。穿线完毕，整理好端部，处理好端部绝缘，再进行必要的测试，在符合要求后即可浸漆烘干。

有时遇到电动机急需使用，一时来不及修理，可采用跳接法作应急处理。其方法是把短路线圈的一端剪断，并用绝缘材料包

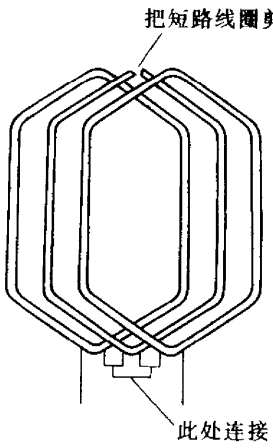


图 5－4　用跳接法处理短路线圈

扎好端头，再把该线圈的首、尾端短接起来，如图 5－4 所示。这样可临时减轻负载运行，待条件允许，再进行彻底修理。

四、定子绕组断路故障的检修

定子绕组断路的主要原因通常是绕组受机械力或碰撞发生断裂；接头焊接不良在运行中脱落；绕组发生短路，产生大电流烧断电磁线等。绕组断路后，电动机将无法正常起动。若电动机在运行中发生断路故障，将造成三相电流不平衡、绕组发热、噪声增大、转矩下降、转速降低等。时间稍长，将导致电动机烧毁。

定子绕组的断路故障一般发生在绕组的端部、各线圈的接头处或电动机的引出线等部位。检查绕组断路故障一般可采用串联灯泡的方法来进行（见图 5－5）。对于星形连接的电动机，检查时先按图 5－5（a）所示的方法找出断线相，然后再按图 5－5（b）所示的方法找出断线点。对于三角形连接的电动机，检查前必须先把三相绕组的接头拆开，然后按图 5－5（c）所示的方法找出断线相，最后再按图 5－5（d）所示的方法找出断线点。

对于中等容量以上的电动机，绕组多采用多根电磁线并联或多个支路并联，其中若仅断掉若干根电磁线或断开一条并联支路时，检查起来就比较复杂，通常采用以下两种方法。

1．三相电流平衡法

对于星形连接的电动机，在电动机的三根电源线上分别串入三个电流表（也可用钳形电流表分别测量三相电流），使其空载运行，若三相电流不平衡（三相电流值相差 5% 以上），又无短路现象，则电流小的那一相有断路故障，如图 5－6（a）所示。

对于三角形连接的电动机，首先应把任意一角的接头拆开，

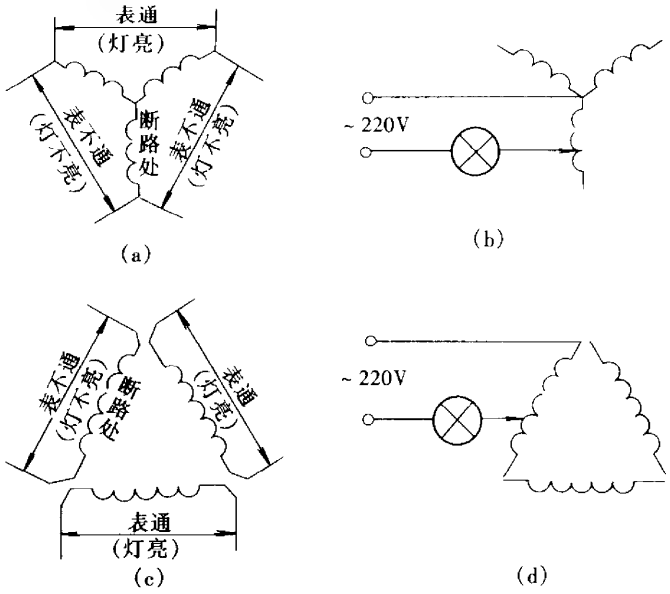


图 5－5　检查定子绕组的断路故障

(a) 检查星形连接绕组的断线相；(b) 检查星形连接绕组的断线点

(c) 检查三角形连接绕组的断线相；(d) 检查二角形连接绕组的断线点

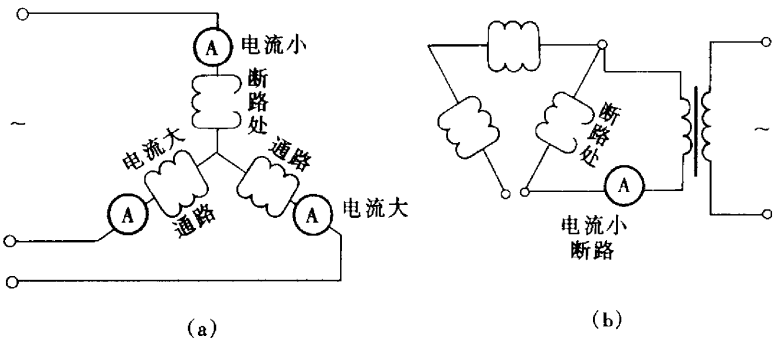


图 5－6　用电流平衡法检查多支路绕组断路

(a) 检查星形连接的绕组；(b) 检查三角形连接的绕组

将低压交流电（一般可用单相交流弧焊机作电源）分别接入每相绕组（注意串入电流表），测量各相绕组的电流，则电流小的那

一相绕组有断路故障，如图 5－6（b）所示。

2. 电阻法

若绕组为星形连接时，可用电桥分别测量三相绕组的直流电阻，如果三相电阻值相差 5%以上，则电阻较大的那一相绕组有断路故障。若绕组为三角形连接时，首先要把任意一个角的接头拆开，再用电桥分别测量三相绕组的直流电阻，则电阻较大的那一相绕组有断路故障。

绕组断路故障的修理方法如下：若断路点在铁心槽外，又是单根电磁线断开，可以重新焊接好，并处理好绝缘即可；若是两根以上的电磁线断开，则应仔细查找线头线尾，否则容易造成人为短路；若断路点在铁心槽内，应采用穿线法更换故障线圈；若绕组断路严重，必须更换整个绕组。如果电动机急需使用，也可像绕组短路故障的应急修理一样，采用跳接法将故障线圈首尾短接，这样可使电动机临时减轻负载运行，待条件允许，再进行彻底修理。

五、三相绕组首尾端的判别

三相绕组的首尾接错后，会使绕组中电流方向反向，造成磁动势不平衡，引起电动机振动和噪声、转速缓慢甚至不转、三相电流严重不平衡。如不及时切断电源，还将造成绕组温度急剧上升而烧毁电动机。

三相绕组首尾端的判别方法有以下几种。

1. 绕组串联法（又称灯泡法）

先用万用表将绕组的 6 根引线分成 3 个独立绕组，然后按图 5－7 所示的接法通以低压交流电源试验（注意所加电压应使绕组中的电流不超过额定值），如果灯泡发亮，说明串联的 U、V 两相绕组是正向串联，即一相绕组的首端接另一相绕组的尾端，如图 5－7（a）所示。如果灯泡不亮，则是反向串联，如图 5－7（b）所示，这时可将一相绕组的首尾端对调再试。判断出前两相的首尾端后，将其中一相再与第三相串联，用同样方法试验，最后可以判断出三相绕组各自的首尾端。

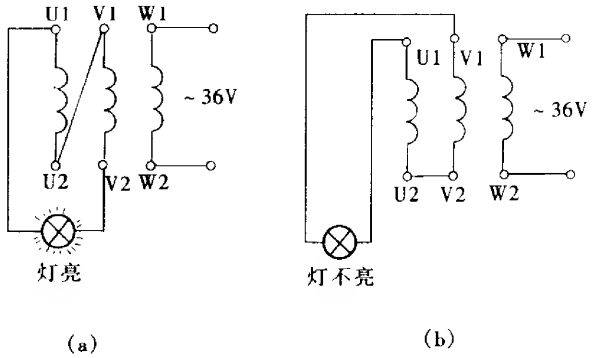


图 5－7　用单相交流电源判断三相绕组的首尾端

(a) 首尾连接正确；(b) 首尾连接错误

2. 万用表法

将三相绕组按图 5－8 所示接成星形，从一相绕组通入 36V 交流电源，在另外两相绕组之间接入置于 10V 交流电压档的万用表，按图 5－8 (a) 和 (b) 各测一次，若两次万用表指针均不动，则说明图中接线正确。若两次万用表指针都偏转，则两次均未接电源的那一相的首尾接反。若只有一次指针偏转，另一次指针不动，则指针不动的那一次中，接电源的那一相首尾接反。

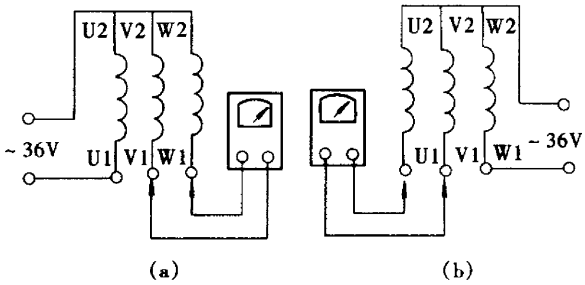


图 5－8　用万用表判断三相绕组的首尾端

(a) 测法一；(b) 测法二

3. 切割剩磁法

切割剩磁法的接线图如图 5－9 所示，用万用表（毫安档）

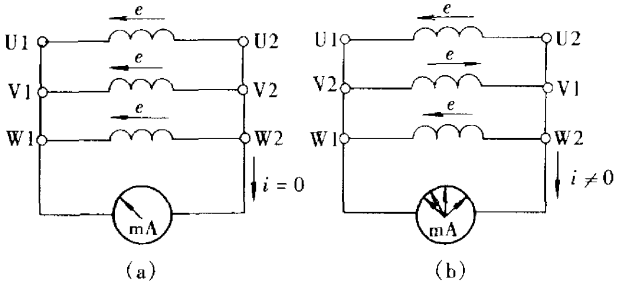


图 5－9　用切割剩磁法判断三相绕组的首尾端

（a）指针不动，绕组首尾连接正确；

（b）指针摆动，绕组首尾连接错误

进行测量。此时用手转动电动机的转子，如果万用表的指针不动，则说明三相绕组首尾连接是正确的，即三相绕组的首端与首端连接、尾端与尾端连接。如果万用表的指针来回摆动，则说明三相绕组连接有误，应改接后重试。这一方法是利用转子铁心中的剩磁在定子三相绕组中感应出电动势，用万用表指示出其回路中的电流值来检查的。

六、定子绕组中个别线圈接反或嵌反的检查

定子绕组中若有个别线圈或极相组（线圈组）接反或嵌反时，将会使三相电流不平衡，导致电动机不能正常运行。此时可用指南针检查法进行检查。

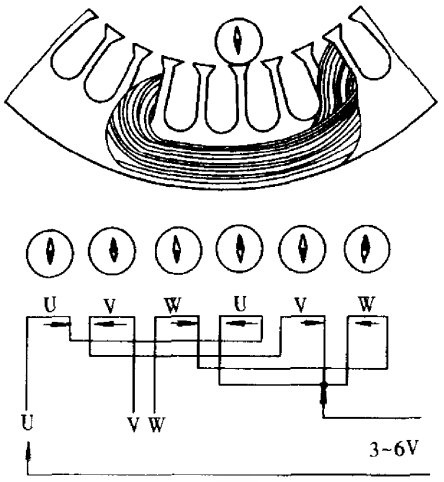


图 5－10　指南针检查法

指南针检查法接线如图 5－10 所示。将 3～6V 直流电源接入待测的那一相绕组（如 U 相绕组）的两端，将指南针沿着定子内圆周移动，指南针经过该相的每个极相组时，若指南针的指向交替变化，

则表示该相绕组中的各极相组之间及各线圈之间接线正确。若指南针经过该相的某两个相邻的极相组时，指南针的指向不变，则说明有一个极相组接反；若在某一个极相组内，指南针的指向不定，则说明该极相组内有个别线圈接反或嵌反。这时应将该相绕组中接错部分的连接线或过桥线加以纠正。如果指南针的指向都不清楚，应升高电源电压重新检查。

按上述方法同样可测试其余两相绕组。若三相绕组为星形连接，则不必拆开中性点，只需将低压直流电源接入中性点和待测的那一相绕组的另一端即可（见图 5－10）；若三相绕组为三角形连接，则应将其任意一个角的接线拆开后，再进行测试。

第 4 节　异步电动机转子绕组常见故障的检修

一、笼型转子绕组常见故障的检修

笼型转子的常见故障是断条，断条会使电动机出现如下异常现象：未起动的电动机起动困难，带不动负载；运行中的电动机转速降低，定子电流时大时小，电流表指针呈周期性摆动、电机过热、机身振动，还可能产生周期性的“嗡嗡”声。造成转子断条的原因通常是铸铝质量不良、制造工艺粗糙或结构设计不佳，也可能是使用时经常正反转起动或过载等所致。

转子断条故障一般发生在导线与端环的连接处，但也可能发生在转子槽内。如发现转子有断条现象时，可把转子从电动机中抽出，仔细观察。导条断裂处的铁心往往过热变色，据此可找到断条部位。如果不能找到断条部位，可以采用以下两种方法检查断条位置。

1. 铁粉检查法

利用磁场能吸引铁屑的物理现象，在转子绕组两端加一个低压交流电源，如图 5－11 所示。从 0V 逐渐升高电压，转子磁场也逐渐增强，这时在转子上均匀地撒上铁粉，根据铁粉的分布情

况，即可判断笼型转子是否有断条。若转子绕组没有断条故障，则铁粉就会整齐地沿转子铁心的槽口排列；若转子绕组有断条故障，则断裂的导条电流不通，导条周围没有磁场，因此该导条所在槽的槽口没有铁粉；若某一条槽口处的铁粉较少，则此槽内的导条可能存在断条点。

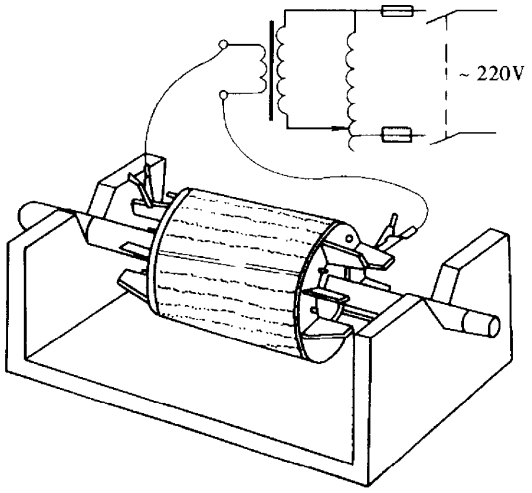


图 5－11　用铁粉检查笼型转子断条

2. 断条侦察器法

将已接通单相交流电源的断条侦察器跨在转子铁心槽口，并沿转子铁心外圆逐槽移动，便可根据电磁感应原理找出故障点。检查时，将断条侦察器的凹面跨在转子铁心槽上，在该铁心槽的另一端放上一根条形薄铁片或锯条，如图 5－12（a）所示。如果该槽内的导条是完好的，断条侦察器会在该导条中感应出电流，并使铁片发生振动。这样逐槽进行检查，当侦察器和薄铁片移到某一个铁心槽时，铁片停止振动，则说明该铁心槽内的导条电流不通，即该导条已断裂。

查出已断裂的导条后，还必须找出断裂点，如果断裂发生在导条端部，一般可以直接看出。如果断裂发生在转子槽内，可用

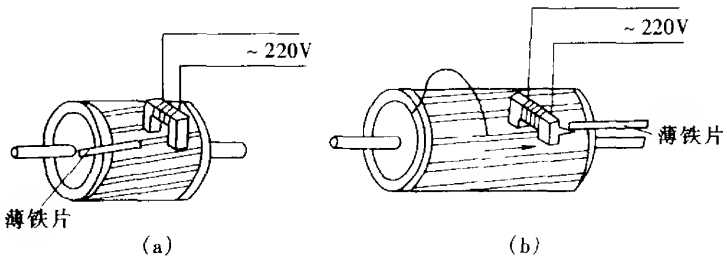


图 5-12　用断条侦察器检查笼型转子断条

(a) 薄铁片振动，导条未断裂；(b) 检查导条的断裂点

图 5-12 (b) 所示的方法查找。即在导条一端的端环上（如左端）焊上一根软导线，将断条侦察器跨在该导条所在槽的槽口两侧，在导条的另一端（如右端）放上薄铁片，然后将软导线的自由端从左端开始沿断裂导条向右移动，最初铁片不振动，说明断裂点在侦察器和软导线的自由端与转子导条的接点之间，一旦软导线越过断裂点，铁片即开始振动。铁片刚开始振动时，软导线自由端左侧的位置即为该导条的断裂点。

转子断条后，对于铸铝转子，可以重新铸铝。如果没有铸铝条件，可以先在断裂处钻孔，然后用丝锥绞上螺纹，拧上与导条材料相同的螺钉，把断裂处接上，待以后重新铸铝或更换转子。对于由铜条构成的笼型转子，可以采用焊接的方法，对断裂处进行修复。

二、绕线型转子绕组常见故障的检修

因为绕线型转子绕组的结构与定子绕组的结构相似，也是三相对称绕组。所以绕线型转子绕组的常见故障及其检修方法可以参考定子绕组常见故障的检修。

第 5 节　单相异步电动机常见故障的检修

一、绕组常见故障的检修

单相异步电动机定子绕组和转子绕组大多数故障的检查和修

理与笼型三相异步电动机类似。

二、离心开关的检修

1. 离心开关短路的检修

离心开关发生短路故障后，当单相异步电动机运行时，离心开关的触点不能切断副绕组与电源的连接，将会使副绕组发热烧毁。

造成离心开关短路的原因，可能是由于机械构件磨损、变形；动、静触头烧熔粘结；簧片式开关的簧片过热失效、弹簧过硬；甩臂式开关的铜环极间绝缘击穿以及电动机转速达不到额定转速的80%等。

对于离心开关短路故障的检查，可采用在副绕组线路中串入电流表的方法。电动机运行时如副绕组中仍有电流通过，则说明离心开关的触头失灵而未断开，这时应查明原因，对症修理。

2. 离心开关断路的检修

离心开关发生断路故障后，当单相异步电动机起动时，离心开关的触头不能闭合，所以不能将电源接入副绕组。电动机将无法起动。

造成离心开关断路的原因，可能是触头簧片过热失效、触头烧坏脱落，弹簧失效以致无足够张力使触头闭合，机械机构卡死，动、静触头接触不良，接线螺丝松动或脱落，以及触头绝缘板断裂等。

对于离心开关断路故障的检查，可采用电阻法，即用万用表的电阻档测量副绕组引出线两端的电阻。正常时副绕组的电阻一般为几百欧左右，如果测量的电阻值很大，则说明起动回路有断路故障。若进一步检查，可以拆开端盖，直接测量副绕组的电阻，如果电阻值正常，则说明离心开关发生断路故障。此时，应查明原因，找出故障点予以修复。

三、电容器的检修

1. 电容器的常见故障及其可能原因

(1) 过电压击穿。电动机如果长期在超过额定电压的情况下

工作，将会使电容器的绝缘介质被击穿而造成短路或断路。

（2）电容器断路。电容器经长期使用或保管不当，致使引线、引线端头等受潮腐蚀、霉烂，引起接触不良或断路。

2. 电容器常见故障的检查方法

通常用万用表电阻档可检查电容器是否击穿或断路（开路）。将万用表拨至 × 10kΩ 或 × 1kΩ 档，先用导线或其他金属短接电容器两接线端进行放电，再用万用表两只表笔接电容器两出线端。根据万用表指针摆动可进行判断：

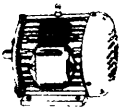
（1）指针先大幅度摆向电阻零位，然后慢慢返回数百千欧位置，则说明电容器完好。

（2）若指针不动，则说明电容器已断路（开路）。

（3）若指针摆到电阻零位不返回，则说明电容器内部已击穿短路。

（4）若指针摆到某较小阻值处，不再返回，则说明电容器泄漏电流较大。

电动机的拆装及绕组的拆除



第1节　异步电动机的拆卸与装配

一、电动机引线的拆装

拆线时应先切断电源。如果电动机的开关距离电动机较远，应把开关里的三个熔丝卸掉，并且挂上“有人检修，不准合闸”的牌子，以防有人误合闸。然后打开接线盒，用验电笔验明接线柱上确实无电后，才可动手拆卸电动机引线。拆线时，每拆下一个线头，应做好标记，并随即用绝缘带包好，以防误合闸时造成短路或触电事故。

对于绕线转子异步电动机来说，还应抬起或提出电刷。

接线时，应按所做标记连接。引线接完后，应把电动机的外壳接地。

二、电动机的拆装步骤

拆卸前，首先要做好准备工作，即准备各种工具，以及做好拆卸前的记录和检查工作，然后进行正确的拆卸。

拆卸前的记录包括以下几项：

(1) 修理编号。

(2) 出线口方向（以辨别机座的负荷与非负荷端）。

(3) 联轴器（或带轮）与轴台距离。

(4) 标记端盖负荷端（又称轴伸端）与非负荷端。

对于绕线转子异步电动机，还应记录举刷装置手柄的行程等。

拆卸电动机时，对于中小型电动机可按图 6－1 所示的 6 个

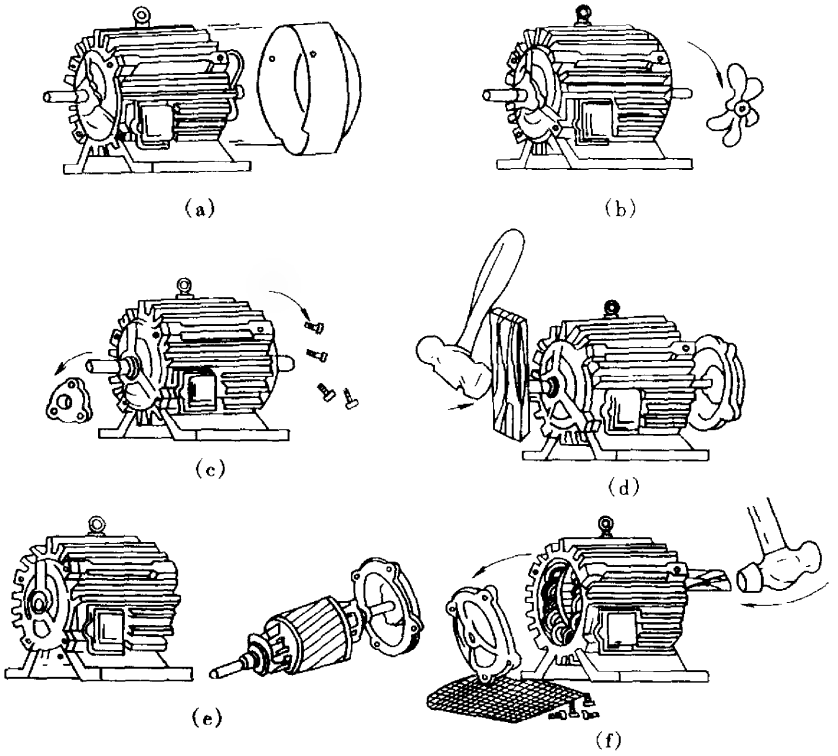


图 6－1　拆卸电动机的步骤

(a) 卸风扇罩；(b) 卸风扇；(c) 卸前轴承外盖和后端盖螺钉；(d) 卸后端盖脱离机座；(e) 卸后端盖及转子；(f) 卸前端盖

步骤进行：

(1) 卸下风扇罩。

(2) 卸下风扇。

(3) 卸下前轴承外盖和后端盖螺钉。

(4) 垫上厚木板或铜棒，用手锤敲打轴端，使后端盖脱离机座。

(5) 将后端盖连同转子抽出机座。

(6) 卸下前端盖螺钉，用长木块顶住前端盖内部外缘，把前端盖打下。

电动机装配前，应作好各部件的清洁工作：

（1）清除定子铁心内径上的油膜、脏物等。

（2）刮平剔净高出定子铁心的槽契、绝缘纸等。

（3）将机座、端盖、轴承盖的止口以及转子表面擦干净。

（4）用皮老虎或汽筒，把定子绕组和机壳内部吹干净。

电动机装配基本上是电动机拆卸的逆过程。电动机的装配是从转子装配开始的，先将轴承内盖的空腔部分填入润滑脂后套在转轴上，再将轴承套装在转轴上。待两端的轴承均装好后，一般可先把非轴伸端的端盖（后端盖）及轴承外盖固定在转子上，再将转子装入定子，并将后端盖固定在机壳上。然后再装配前端盖及轴承外盖，最后装配风扇及风扇罩等。

三、带轮或联轴器的拆装

先旋松带轮（又称皮带轮）或联轴器上的固定螺钉或敲去定位销，在其内孔和转轴结合处加入煤油。再用专用工具——拉具（亦称拉机或抽轴器等）钩住带轮或联轴器，扳动拉具的螺杆，将带轮或联轴器从电动机转轴上缓慢拉出，如图 6－2 所示。操作时，拉钩要对称地钩住带轮或联轴器的内圈，两钩爪受力应一致。有时为了防滑，还可用金属丝将两拉杆捆绑在一起。中间主螺杆应与转轴中心线一致，在旋动螺杆时要用力均匀、平稳。对轴中心较高的电动机，可在拉具下面垫上木块。若转轴与带轮内孔结合处锈蚀或过盈尺寸偏大，拔不下来时，可采用加热法：先将拉具装好并旋紧到一定程度，用石棉包住转轴，用喷灯等快速而均匀地加热带轮或联轴器，待温度升到250℃左右时，加力旋转拉具螺杆，可顺利地将带轮或联轴器拔下。

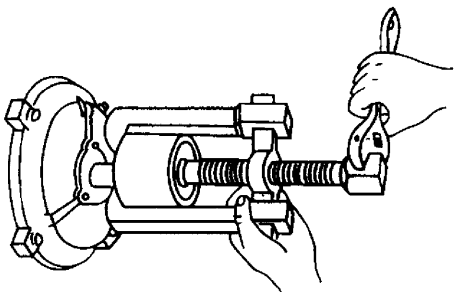


图 6－2　用拉具拆卸带轮

安装时，应先将电动机转轴和带轮或联轴器的内孔清理干净，然后将带轮或联轴器套在转轴上，并对齐键槽位置，再把铜棒或硬木板垫在键的一端，把键轻轻打入槽内，并应注意键在槽内的松紧程度要适当。

四、轴承盖的拆装

只要拧下固定轴承盖的螺钉，即可拆下轴承外盖。拆卸时，应注意将轴承盖标上记号，以防安装时装错位置。

对于中小型电动机，由于轴承外盖是与轴承内盖用螺栓联在一起的，当端盖就位后，轴承内盖的位置则看不到了，所以需要摸索着寻找。寻找方法有两种，分别如图 6－3(a)和(b)所示。

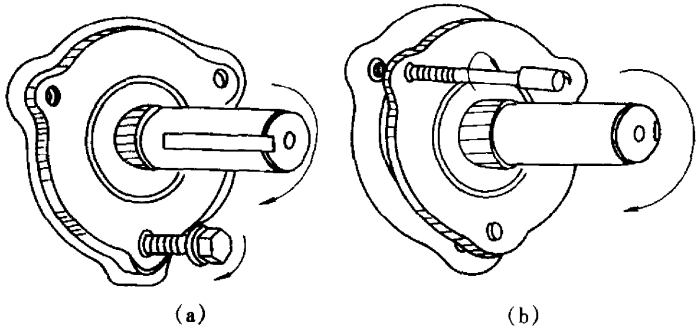


图 6－3　轴承外盖装配方法

(a) 试探法；(b) 吊丝法

第一种方法是在套入轴承外盖之前，先将一只固定轴承外盖的螺栓伸入端盖孔内，一只手转动转子，从而带动轴承内盖转动，另一只手慢慢旋转（朝紧固方向）螺栓，当轴承内盖的螺孔接触螺栓头时，操作螺栓的手会有感觉，这样紧旋几下就能将轴承内盖位置固定，然后将该螺栓卸下，再将轴承外盖套入，最后再上好所有的螺栓。第二种方法是先将轴承外盖套入，再将一根较长一些的螺杆插入端盖孔内，按上述方法把轴承内盖位置固定后，上好另外的螺栓，再卸下螺杆并换用固定轴承盖的螺栓。后一种方法解决了第一种方法因螺栓短而不易找到轴承内盖螺孔的问题。

紧固轴承盖螺栓的同时，应转动转子，既要使螺栓紧固到位，又要使转子转动灵活。有必要时，可用木榔头轻敲电机轴头，然后再进一步紧固上述螺栓，最终达到理想的效果。

五、端盖的拆装

拆卸端盖前应检查紧固件是否齐全，端盖是否有损伤，并在端盖与机座接合处标上记号。接着拧下轴承盖螺栓，取下轴承外盖，再卸下端盖紧固螺栓。如为大、中型电动机，端盖上留有两个退拔孔（顶丝孔），可用合适的螺栓拧入该孔将端盖取出。对于没有退拔孔的端盖，可用撬棍或一字旋具（螺丝刀）在周围接缝中均匀加力，将端盖撬出止口。还可以用两根厚度适当的角铁，将其一边卡入端盖与机座之间的间隙中，如图6-4所示，每只手搬动一根角铁，反复撬动几次后，即可将端盖拆下。若拆卸较重的端盖，在拆卸前必须用吊车或其他起重设备将端盖吊好再拆，否则容易碰坏端盖或碰伤其他部件，甚至伤及操作人员。

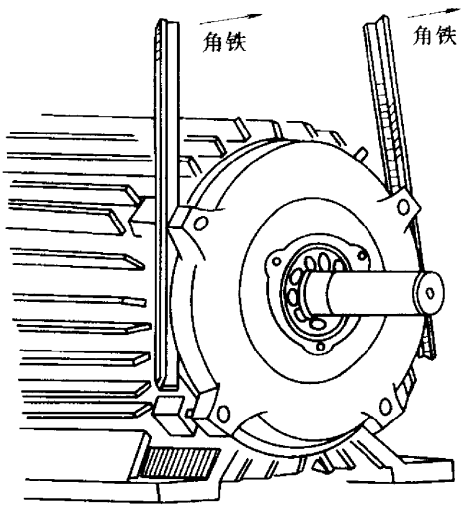


图6-4　拆卸端盖的方法

安装时，对于小型电动机一般可先装配后端盖。把转子竖直放置，将后端盖轴承孔对准轴承外圈套上，一边使端盖沿轴转动，一边用木榔头敲打端盖的靠近中央部位，如图6-5所示，直到端盖到位为止。再将后轴承内盖、后轴承外盖及后轴承内按规定加足润滑油，套上后轴承外盖，拧紧轴承盖紧固螺栓即可。

后端盖装配完后，按拆卸所做的标记，将转子放入定子内腔中，合上后端盖。按对角交替的顺序拧紧后端盖紧固螺栓。注意边拧螺栓，边用木榔头均匀地敲打端盖，直至到位。然后将前轴

承内盖与前轴承内按规定加足润滑油，参照后端盖的装配方法，将前端盖装配到位。

拆装端盖时，如需敲打端盖应使用木榔头、尼龙榔头或铜锤，而且不能用力过大，以防端盖破裂。拧螺栓时应按对角线的位置轮番逐渐拧紧，各螺栓的松紧程度应一致。

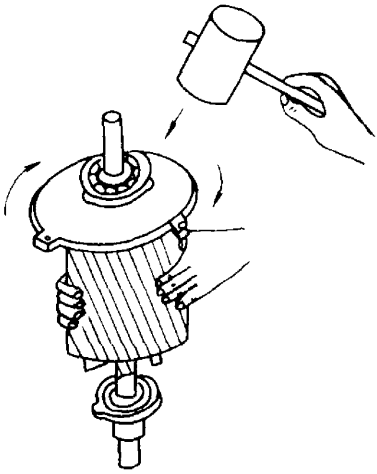


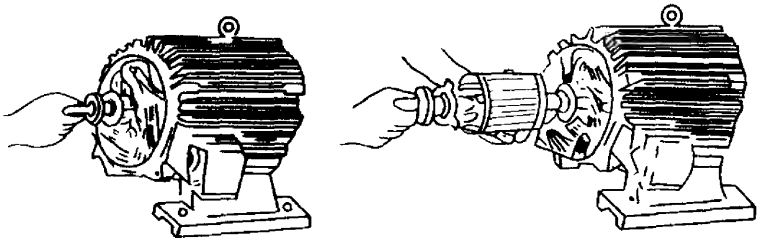
图 6－5　后端盖的装配

六、转子的拆装

抽出或装入转子时，应注意不要碰坏定、转子铁心及绕组。

在抽出转子前，应在定子绕组端部垫上厚纸板，以免抽出转子时碰伤铁心和绕组。对于小型转子可以直接用手抽出，如图6－6所示。对于较大的转子，如果转轴两端伸出机座部分足够长，可用起重设备吊出，如图 6－7 所示。起吊时，应注意保护轴颈、定、转子绕组和转子铁心风道。也可采用工装提起转子，如图 6－8 所示。图 6－8 中的 L 型工装称为吊杆，其上部的一排孔是用于和起吊设备连接用的，改换吊孔可以调整起吊重心，使转子被吊起后其轴线保持水平。吊杆与电机转轴接触的部位应用尼龙或紫铜等较软材料做成的套筒，以防损伤转轴。

如果转子轴伸出机座部分较短，可在转轴的一端或两端加套



(a)　　(b)

图 6－6　小型电动机转子的抽出

(a) 步骤一；(b) 步骤二

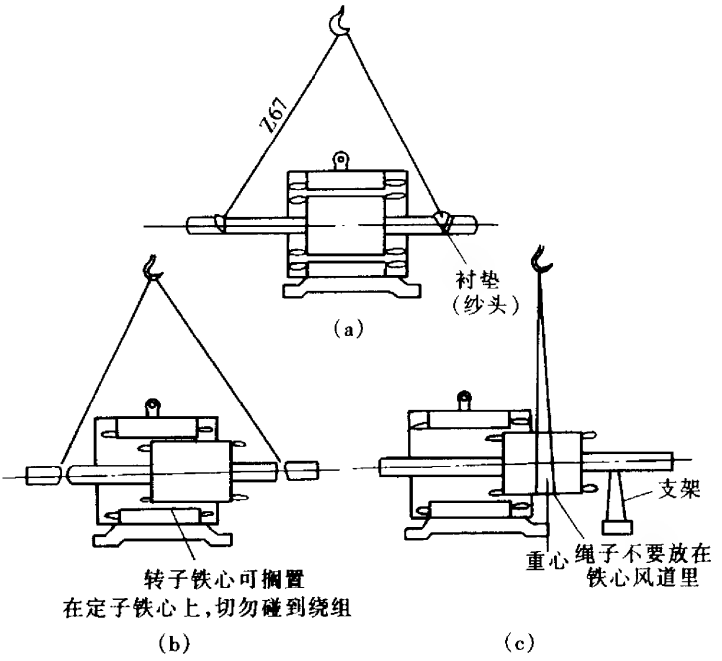


图 6-7　抽出大型转子的方法

(a) 保护轴颈；(b) 保护绕组；(c) 保护铁心风道

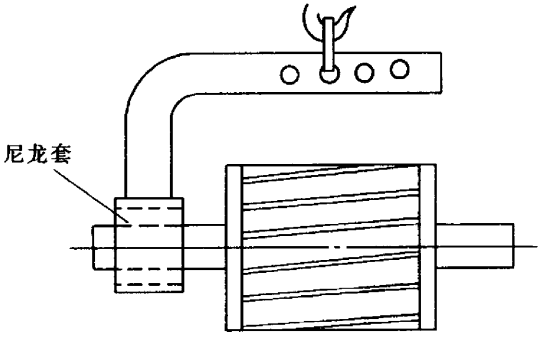


图 6-8　用工装提起转子示意图

钢管接长，形成所谓“假轴”，如图 6-9 所示。图中在电动机转子的一侧套上了假轴，按图中的方法分两步可吊出转子。

装入转子的步骤与抽出转子的步骤相反，同样应注意对电动机各部分的保护。

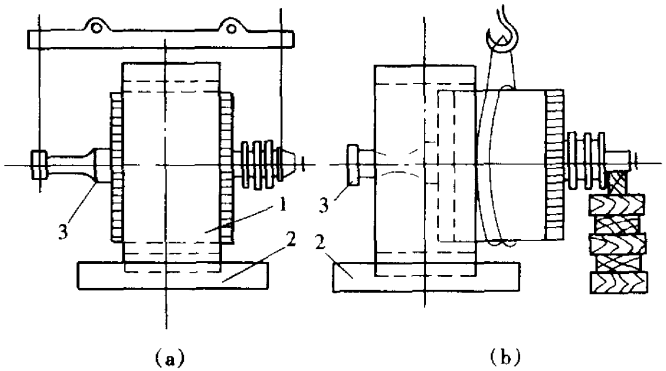


图 6－9　用假轴抽出转子

(a) 套上假轴；(b) 抽出转子

1—机座；2—地脚；3—假轴

七、轴承的拆装

轴承的拆卸常遇到两种情况：一种是在转轴上拆卸，另一种是在端盖上拆卸。

在转轴上拆卸轴承常用三种方法：一种是用拉具按拆卸带轮的方法进行拆卸，如图 6－10 所示。拆卸时，钩爪一定要抓牢轴承内圈，以免损坏轴承；第二种方法是在没有拉具的情况下，用铜棒在倾斜方向顶住轴承内圈，用榔头敲打，边敲打铜棒，边将铜棒沿轴承内圈均匀移动，直到敲下轴承，如图 6－11 所示。第

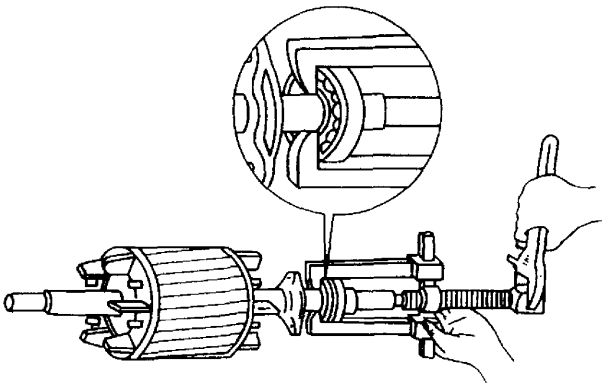


图 6－10　用拉具拆卸轴承

三种方法是用两块厚铁板在轴承内圈下夹住转轴，用能容纳转子的圆筒支住铁板，在转轴上端面垫上厚木板或铜板，用榔头敲打木板，直至取下轴承，如图 6－12 所示。

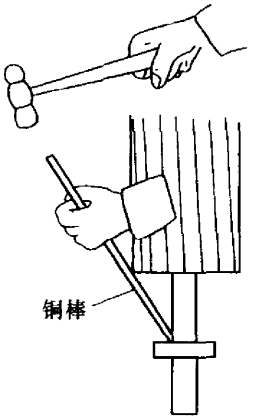


图 6－11　用榔头及铜棒拆卸轴承

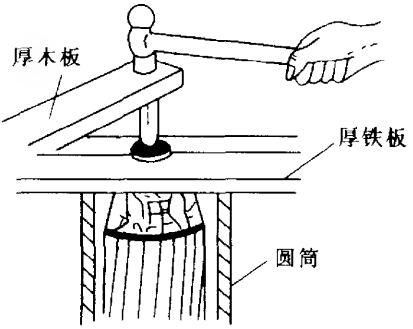


图 6－12　用铁板圆筒支撑，敲打轴端拆卸轴承

有时电动机端盖内孔与轴承外圈的配合比轴承内圈与转轴的配合更紧，在拆卸端盖时，轴承留在端盖内孔中。这时可采用图 6－13所示的方法，将端盖止口面向上平稳地放置，在轴承外圈的下面垫上木板，但不能抵住轴承，然后用一根直径略小于轴承外径的铜棒或其他金属棒抵住轴承外圈，从上面用榔头敲打，使轴承从下方脱出。

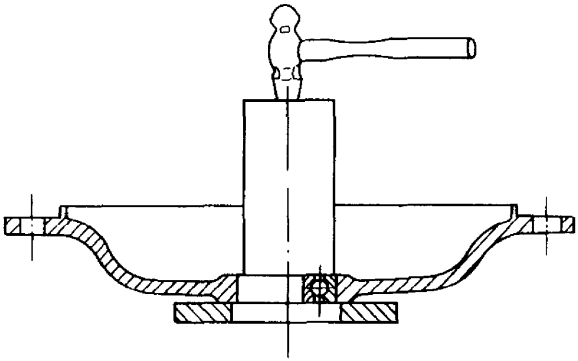


图 6－13　拆卸端盖内孔内的轴承

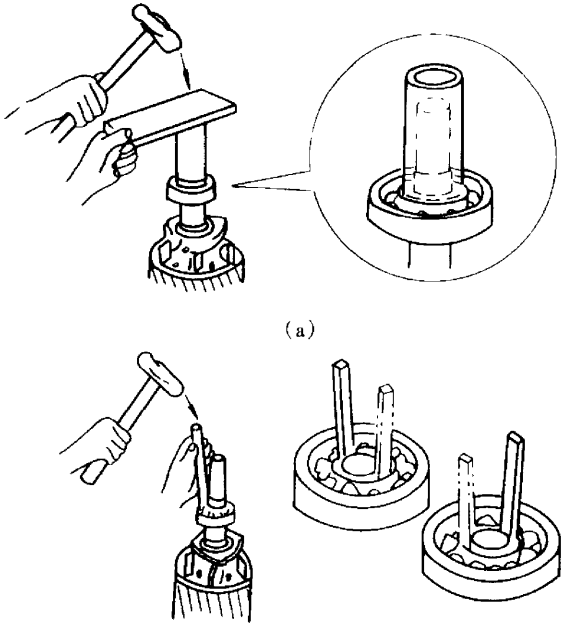


图 6－14　轴承安装方法示意图

（a）套管安装法；（b）铁条安装法

安装轴承的方法如图6－14所示。装配前应检查轴承是否转动灵活而又不松动，并在轴承中按其总容量的 1/2～3/4 的容积加足润滑油。装配时，先将轴承内盖加足润滑油套在转轴上，然后再装轴承。为使轴承内圈受力均匀，应用一根内径略大于转轴的铁管（套筒）套在转轴上，抵住轴承内圈，将轴承敲打到位，如图 6－14（a）所示。若一时找不到套管，可用一根铁条抵住轴承内圈，在圆周上均匀敲打，使其到位，如图 6－14（b）所示。安装轴承时，轴承型号必须朝外，以便下次更换时查对轴承型号。装配时，还应注意使轴承在转轴上的松紧程度适当。

第 2 节　异步电动机绕组的拆除

当电动机的绕组严重损坏时，就必须将绕组全部拆换（又称

重绕)。由于电动机的绝缘等级及绕组的结构不同，其拆换工艺也有所差异。下面以中小型异步电动机定子绕组为例，介绍绕组的拆除步骤及方法。

一、记录原始数据

拆除旧绕组前以及拆除过程中，除了要记录电动机的铭牌数据外，还要记录以下各项原始数据，作为选用电磁线、制作绕线模、绕制线圈及改绕计算等的依据。

1. 绕组数据

(1) 绕组型式。

(2) 每槽线数（又称每槽导体数)。

(3) 电磁线型号。

(4) 电磁线规格。

(5) 并绕根数。

(6) 线圈的节距。

(7) 并联支路数。

(8) 绕组的接法。

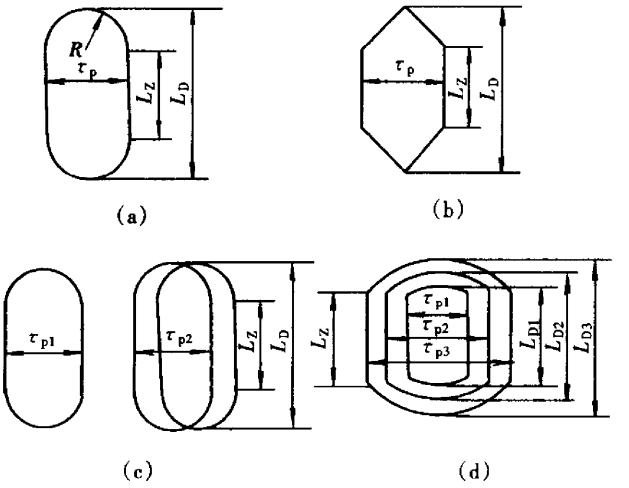


图 6－15　常用线圈的型式及有关尺寸

(a) 单层链式；(b) 双层叠式；

(c) 单层交叉式；(d) 单层同心式

（9）线圈的型式及尺寸（见图6－15）。

（10）线圈伸出铁心长度（见图6－16）。

（11）绕组接线圈。

（12）绕组引出线与机座的相对位置。

（13）电磁线的总重量。

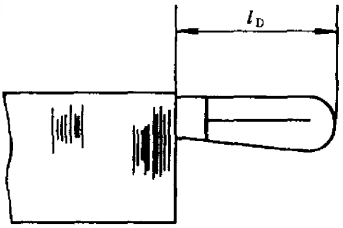


图 6－16　绕组端部伸出铁心的长度

2. 铁心数据

（1）定子铁心内径。

（2）定子铁心外径。

（3）定子铁心长度。

（4）定子槽数。

（5）定子槽形尺寸（见图6－17）。

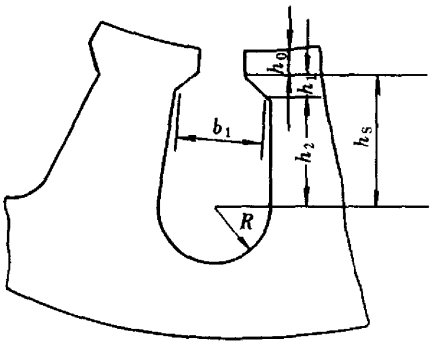


图 6－17　定子铁心槽形尺寸

二、冷拆法

采用冷拆法拆除绕组可以保护铁心的电磁性能不致变坏，但比较费力。冷拆法又分为冷拉法和冷冲法两种。

1. 冷拉法

先用废锯条制成的刀片或其他小刀等工具，从槽口的一端将槽楔破开。将槽楔从槽中取出。也可用扁铁棒顶住槽楔的一端，用榔头将其敲出。再用斜口钳将绕组端部逐根剪断或用凿子（錾子）沿靠近铁心端面处将电磁线切断。然后用钳子夹住线圈的另一端将电磁线逐根拉出。若线圈嵌的太紧，可将铁棒从绕组端部插入后，运用杠杆原理，将电磁线用力撬出（见图6－18）。如果有专用的电动拉线机，拆除绕组就更为方便。操作时，应不要用力过猛，以免损坏槽口或使铁心变形。

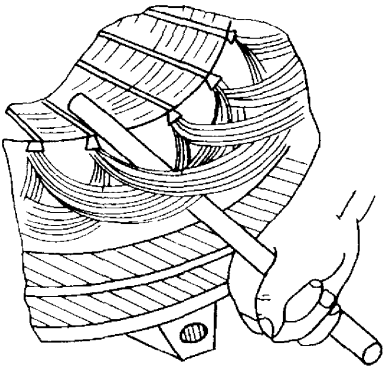


图 6－18　用铁棒撬出线圈

2．冷冲法

对于电磁线较细的绕组，由于其机械强度低，容易拉断，可先用平头钢凿沿铁心端面将整个绕组齐头铲断，然后用一根横截面与槽形相似，但尺寸比槽截面略小的铁棒，抵住槽内线圈一端的断面，用锤子敲打，将线圈从另一端槽口处冲出。

三、热拆法

采用热拆法拆除绕组比较容易，但会在一定程度上破坏铁心绝缘，影响铁心的电磁性能。热拆法又分为通电加热法、烘箱加热法和明火加热三种。

1．通电加热法

通电加热时需将转子抽出，用三相调压器或电焊机向定子绕组通入低压大电流，电流大小可调到额定电流的 2～3 倍。根据设备情况，可以将三相绕组同时通电（接成星形、三角形、三相绕组并联或接成开口三角形等），也可以将一相绕组、一个线圈组或单个线圈分别通电。待绝缘软化，绕组端部冒烟时，即可切断电源，迅速打出槽楔，拆除绕组，也可一边加热，一边拆除，直到全部拆完为止。这种方法适用于功率较大的电动机，其温度容易控制，但必须有足够容量的电源设备。对于绕组中有断路或短路的线圈，其局部不能加热，需采用其他方法拆除。

2．烘箱加热法

用烘箱（也可用电炉、煤炉等）加热定子绕组，待线圈绝缘软化后即可拆除绕组。加热时，应注意温度不宜超过 200℃，以免烧坏铁心。

3．明火加热法

用木柴火烧加热时，将电动机定子架空立放，在定子腔中加木柴燃烧，使绝缘软化烧焦后，将绕组拆除，也可用煤气、乙炔

或喷灯等加热，拆除绕组。采用明火加热时，火势不宜太猛，时间不宜太长，以烧焦绝缘物为止。此法虽简单易行，但会严重破坏硅钢片表面漆膜，使铁心损耗增大，电磁性能下降，因此最好不要采用明火加热法。

四、溶剂法

将电动机定子立放在一个有盖的铁箱内，用毛刷将一种自制溶剂刷在绕组的端部和槽口上，然后加盖密封，防止溶剂挥发太快，待绝缘软化后，即可将绕组拆除。

自制溶剂的方法是：配料质量比为丙酮 50%、甲苯 45%、石蜡 5%；先将石蜡加热溶化后，移开热源、再加入甲苯，最后加入丙酮搅拌均匀即可。

必须注意，使用溶剂时要防火，并注意通风良好，以防将有害气体吸入人体，造成中毒。溶剂法费用较高，一般只用于微型电机绕组的拆除。

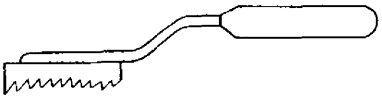
五、拆除绕组后应做的工作

1. 清除槽内的绝缘纸等残留物

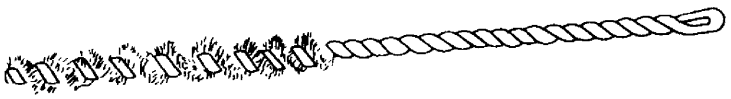
旧绕组全部拆除后，要趁热将槽内残余绝缘清理干净，尤其在通风道处不准有堵塞。清理铁心时，可用清槽锯、清槽钢丝刷等专用工具（见图 6－19）进行清理，不许用火直接烧铁心。对于有毛刺的槽口，要用细锉锉光磨平；对于不整齐的槽形，要进行修整。

如果铁心松弛和两侧不紧（拆除旧绕组时操作不妥使硅钢片向外张开），可用两块钢板制成的圆盘，其外径略小于定子绕组端部的外径，中心开孔，穿一根双头螺栓，将铁心两端夹紧，紧固双头螺栓，使铁心恢复原形。若只有个别齿的硅钢片向外张开，可在沿铁心端面约 45°的方向，用金属棒或小锤轻轻敲打该硅钢片的端部，将该硅钢片敲平或略向里弯曲即可。

铁心清理后，用沾有汽油的擦布擦拭铁心各部分，尤其在槽内不允许有污物存在。最后再用压缩空气吹净铁心。使清理后的铁心表面干净，槽内清洁整齐。



(a)



(b)

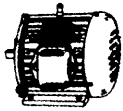
图 6－19　清理铁心常用的工具

(a) 清槽锯；(b) 清槽钢丝刷

2. 记录线圈的有关数据

尽可能按规格，各保留一个完整的旧线圈，以备制做绕线模时参考。并详细记录线圈的匝数、并绕根数、每根电磁线的线径、每个线圈的单匝总长（可取平均值）。

第7章 线圈的绕制



第1节 测量电磁线常用量具

一、外径千分尺

外径千分尺是一种精密量具，常用来测量电磁线外径。外径千分尺如图7-1所示。

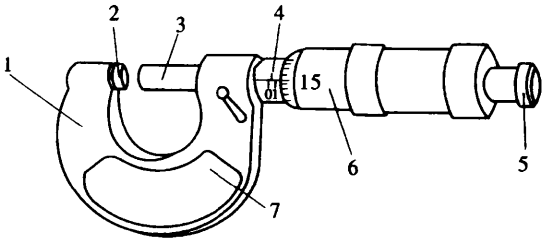


图7-1 外径千分尺

1—尺架；2—测砧；3—测微螺杆；4—固定套管；
5—棘轮；6—微分筒；7—绝热板

在尺架上有测砧，测微螺杆与微分筒相连，沿顺时针方向转动微分筒时，测微螺杆向测砧靠近，直至接触上；反之，测微螺杆远离测砧。外径千分尺的使用方法如下：

(1) 使用前应先对外径千分尺进行检查。检查时，转动棘轮，使两个测量面接合，无间隙，此时使基准线对准“0”位如图7-2 (a) 所示。

(2) 用左手握住尺架的绝热板（避免因手温造成测量误差），右手先轻轻转动微分筒接触被测电磁线或工件后，再轻轻转动棘轮，如图7-2 (b) 所示。当测力装置发出打滑的声音时，便可

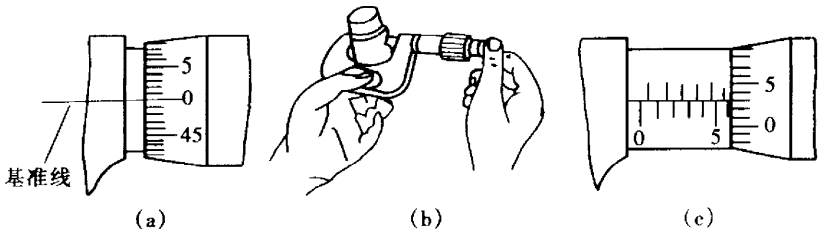


图 7－2　外径千分尺的使用方法

(a) 外径千分尺对零；(b) 外径千分尺握法

(c) 外径千分尺读数（读数：6.03）

读数。

(3) 被测电磁线或工件的直径，可从两套管上的分度直接读出。读数时，从固定套管（主尺）上读出毫米的整数值，再从微分筒上读出毫米小数点后的两位数，然后把两个数加起来即可，如图 7－2 (c) 所示。

(4) 测量时，可多测几点，取平均值。

二、游标卡尺

游标卡尺属于较精密、多用途的量具，一般有 0.1、0.05、0.02mm 三种规格，游标卡尺如图 7－3 所示。

尺身每一分度线之间的距离为 1mm，从“0”线开始，每 10 格为 10mm，在此尺身上可直接读出毫米的整数值。游标上的分

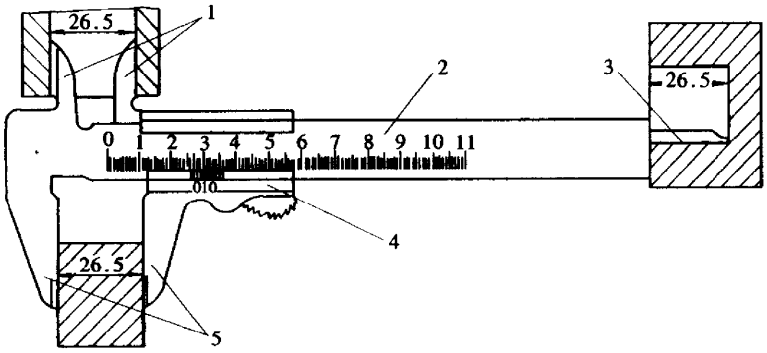


图 7－3　游标卡尺

1—内测量爪；2—尺身；3—深度尺；4—游标；5—外测量爪

度线也是从“0”线开始，每向右一格，增加0.10mm（或0.05mm、或0.02mm，与游标卡尺的规格有关）。游标卡尺的使用方法如下：

（1）测量前，要做“0”标志检查，即将尺身、游标的卡爪合拢接触，其“0”线应对齐。

（2）按被测电磁线或工件移动游标，卡好后便可在尺身、游标上得到读数。例如在图7-4中，尺身给出52mm，再看游标的第4格与尺身刻度对齐，所以游标给出$0.1 \times 4 = 0.4$mm。故工件总尺寸为$52 + 0.4 = 52.4$mm。

（3）读数时要正视，不可旁观，以防止视觉误差。

（4）测量时可多测几点，取平均值。

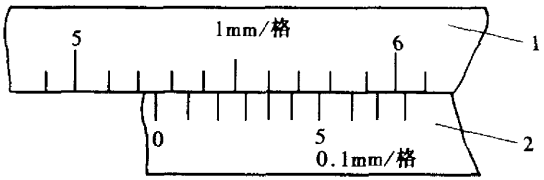


图7-4 游标卡尺读数举例

1—尺身；2—游标

第2节 线圈绕制的技术要求

小型异步电动机的定子绕组一般均采用散嵌式绕组。散嵌式绕组的线圈由圆电磁线绕制而成。绕制线圈时，一般须符合下列技术要求：

（1）匝数要准确。绕完后的线圈，其匝数应完全正确。匝数错误将引起电磁参数变化，影响电动机的技术性能。因此，在绕制线圈时，须有可靠的计数装置。

（2）尺寸和形状应符合图纸要求。所有线圈均须保证尺寸正确，线圈形状必须符合电动机实际要求。否则，若线圈长度过短，将造成嵌线困难，影响嵌线质量，缩短绕组正常使用寿命；

若线圈直线长度过长，则不但浪费铜线，还使电动机的铜耗增加，影响电动机的运行性能。还可能因线圈端部过长而碰端盖，易造成绕组接地。

(3) 绝缘要良好可靠。线圈的匝间及对地绝缘都应该良好可靠。多匝线圈中的电磁线绝缘是绕组绝缘结构中的薄弱环节，若电磁线绝缘在绕制中受损，将会造成线圈匝间短路。因此，线圈与铁心之间以及上、下层线圈之间都必须妥善绝缘。并采用正确的工艺方法，以防止电磁线绝缘在电机制造中受损。

第3节 绕 线 模

定子线圈是在绕线模上绕制而成的。绕制的线圈是否合适，取决于绕线模的尺寸是否合适，若绕线模的尺寸太小，则使线圈端部长度不足，将造成嵌线困难，甚至嵌不进去，影响嵌线质量，缩短绕组正常使用寿命；若绕线模尺寸做得太大，则绕组的电阻和端部漏电抗都将增大，使电动机的铜损耗增加，影响电动机的运行性能，而且浪费电磁线，还可能造成线圈端部过长而碰端盖。所以，合理地设计和制作绕线模是保证电动机质量的关键因素之一。

一、棱形绕线模的简易计算

棱形绕线模（又称梭形绕线模）的形状如图 6－15（b）所示，双层绕组常用这种绕线模。其简易计算方法如下：

(1) 绕线模的宽度 τ_P

$$\tau_P = \frac{\pi(D_{i1} + h_s)}{Z_1} y$$

式中 D_{i1}——定子铁心内径；

h_s——定子槽的深度；

Z_1——定子槽数；

y——线圈节距，用槽数表示。

(2) 绕线模端点距离 L_D

$$L_D = l + K_L \tau_p$$

式中 l——定子铁心长度；

K_L——经验系数，可由表 7－1 选取。

电机绕线模端部长度经验系数 K_L 见表 7－1。

表 7－1　　电机绕线模端部长度经验系数 K_L

绕组型式	2～6 极双层绕组	8～10 极双层绕组	单层同心式	单层交叉式	单层链式
K_L	0.98～1.16	1.1～1.4	0.6～0.72	0.86～1.22	1.22～1.68

注　极数多者取较大值。

(3) 绕线模直线部分长度 L_Z

$$L_Z = l + 2A$$

式中 $2A$——线圈直线部分伸出铁心长度，对于小型电动机，一般取 15～30mm。

(4) 绕线模厚度（即模心厚度）b

双层绕组

$$b = (0.37 \sim 0.41) h_s$$

单层绕组

$$b = (0.40 \sim 0.58) h_s$$

二、半圆形绕线模的简易计算

半圆形绕线模（又称鼓形绕线模）如图 6－15（a）所示。其简易计算方法如下：

(1) 绕线模的宽度 τ_p

$$\tau_p = \frac{\pi(D_{i1} + h_s)}{Z_1} y - b_p$$

式中 D_{i1}——定子铁心内径；

h_s——定子槽的深度；

Z_1——定子槽数；

y——线圈节距，用槽数表示；

b_p——定子槽的中部的宽度。

(2) 绕线模端部圆弧半径 R

$$R = \frac{(L_D - L_Z)^2 + \tau_p^2}{4(L_D - L_Z)}$$

式中 L_D——绕线模端点距离；

L_Z——绕线模直线部分的长度；

半圆形绕线模端点距离 L_D、绕线模直线部分长度 L_Z 及绕线模厚度 b 的简易计算方法与棱形绕线模相同。

三、绕线模的制作

绕线模由模心和夹板两部分构成，如图 7－5 所示。模心一般斜锯成两块，半块固定在上夹板上，另半块固定在下夹板上，这样绕成线圈后容易脱模。

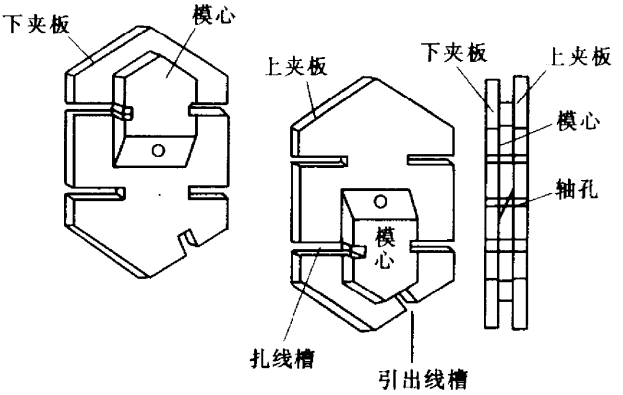


图 7－5 绕线模的结构

绕线模一般用干燥的木料制作。从准确性和耐用性来说，宜用硬木制作，但硬木加工困难，且容易变形、开裂，所以也常用容易加工、不易变形的杉木做绕线模。制作时，必须选用没有开裂的木板，按绕线模厚度刨削平整，再用砂纸打去毛刺，按尺寸锯出绕线模，磨去粗糙锯痕，保留模板棱边，最后在模板中心钻一绕线机轴孔，则单块模板即可完成。对于大量或长期使用的绕线模，可用层压玻璃布板、塑料板或铝合金板制作。

夹板形状可随模心形状，也可做成长方形、八边形或其他相应形状。夹板的尺寸应视电动机而定，一般小型电动机，夹板的每个边长应比模心大出 10 ~ 15mm；较大的电动机则每个边长应比模心大出 20 ~ 30mm。小型电动机夹板厚度一般取 10 ~ 12mm；较大的电动机夹板厚度一般取 15 ~ 20mm。多联模的中间夹板的厚度一般取 7 ~ 10mm。

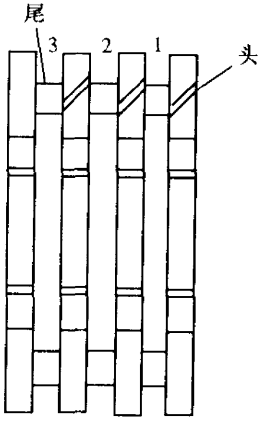


图 7 - 6　棱形连绕线模

绕线模还可以按每极每相的线圈个数制作，如每个极相组有 3 只线圈，则可做成 3 块模心，4 块模板，如图 7 - 6 所示。绕制线圈时，可以将 3 只线圈连绕，省去线圈间的焊接，可以节省工时和提高接线的质量。对于容量较小的电动机或大批量生产的电动机，还可以制作成将一相（或一条支路）内各线圈连绕的绕线模，既可省去各线圈之间的焊接，又可省去极相组之间的焊接。

绕线模的尺寸除用简易方法进行计算外，还可用试槽法估算（见图 7 - 7），即用一根电磁线做成线圈形状，按规定的节距放入定子槽中，将线圈两端弯成椭圆形，向下按线圈两端，当线圈端部与机壳轻微相碰时，这个线圈的尺寸可做为绕线模的参考尺寸。另外，在拆除定子绕组时，也可留出一个较完整的线圈，取其中最小的一匝作为绕线模的尺寸。

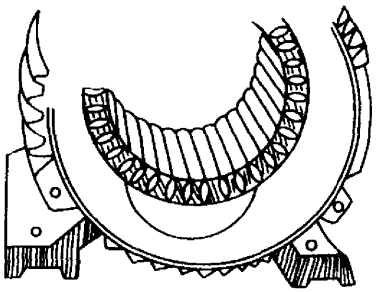


图 7 - 7　试槽法示意图

四、多用绕线模

以上所介绍的绕线模，都是一模一用的专用绕线模，它要耗用大量材料，很不经济。为了达到一模多用，还可以设计、制作或外购各种型式的多用绕线模。

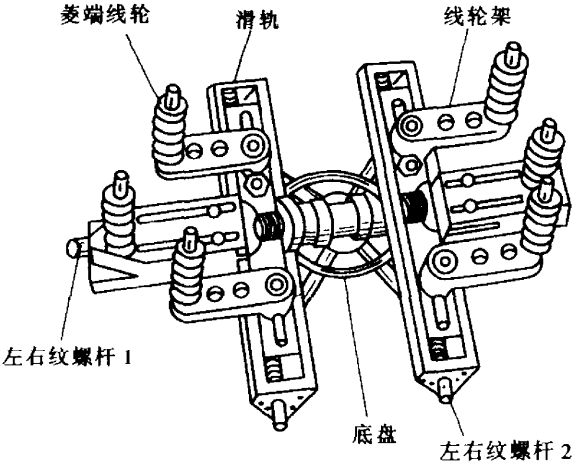


图 7－8　多用绕线模

常用多用绕线模分别如图 7－8 和图 7－9 所示。使用时，只要根据线圈尺寸调节绕线模上的螺栓即可。

除购买多用绕线模外，也可自制更简易的多用绕线模，如图 7－10 所示。模板可用木板、层压玻璃布板或塑料板等制作。在板上钻几排孔（图中为三排孔），若用于不同节距，可以多钻几排孔，用六根竹棒插入孔中，每根竹棒上套上一个外径约 12mm，厚 10mm 的塑料垫圈，再套上一块同样的模板，装夹到绕线机上，就可绕制。若需连绕几只线圈，只要多做几块模板和塑料垫圈，并将竹棒做长一些即可。

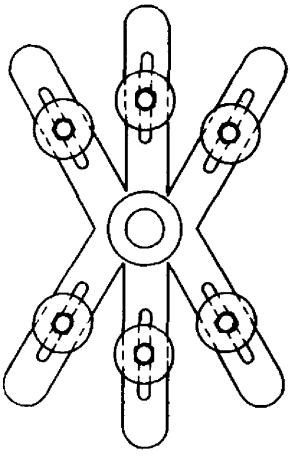


图 7－9　简易多用绕线模

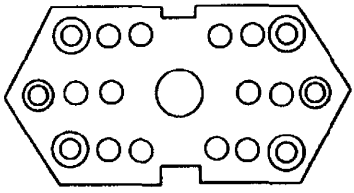


图 7－10　自制的多用绕线模

第4节　线圈的绕制

一、绕线前的准备

在正式绕线前，应检查所用电磁线是否符合所需规格，然后进行试模，即用制作好的绕线模绕一只线圈（或若干匝），嵌入相应槽中，检查端部是否过长，嵌线是否困难，确定合适后，再正式绕制线圈。

线圈是在绕线机上利用绕线模绕成的。一般小线圈多用手摇绕线机绕制；大线圈则在电动绕线机上绕制。一般绕线机都是累计式的匝数计数器。因此，将绕线模装置好，并将扎线放入扎线槽内后，应将计数器调零或记下始绕数字才能绕线。

二、电磁线的检查

绕线前用千分尺检查电磁线直径及绝缘厚度是否合乎要求。若电磁线直径过细，超出公差值，而使绕组电阻增大5%以上，将会影响电动机的电气性能。若电磁线的绝缘厚度超过规定值，会致使嵌线困难。对于漆包线，特别要注意漆皮应均匀光滑，不应有气泡、漆瘤、霉点和漆皮剥落现象。此外，还要检查一下电磁线的软硬程度，如果太硬，则不宜绕制线圈。

在一般电动机中，使用单根电磁线直径应不超过1.60mm。线径太大，将使嵌线困难，槽空间利用率不高，因此当单根电磁线直径大于1.60mm时，宜采用两根或多根电磁线并绕，使嵌线操作时较柔软。但是，线径也不能太小，否则电磁线机械强度太差，也不适宜。

三、绕制线圈的一般步骤

（1）将备绕的电磁线装在放线架上，如图7－11（a）所示。如果电磁线直径小于0.5mm，则宜采用立式拉出放线法，如图7－11（b）所示。

（2）在绕线机与放线架之间，必须把电磁线夹紧，夹紧电磁线的方法很多，一般采用紧线夹，如图7－11（a）所示。紧线

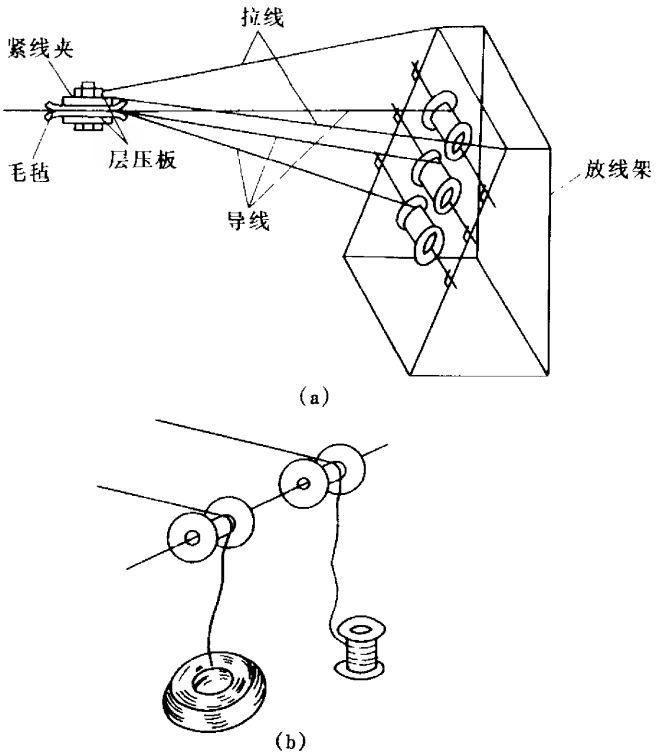


图 7－11　放线法示意图

(a) 放线架放线；(b) 立式拉出放线

夹应垫有浸过石蜡的毛毡，并适当调整夹紧程度，以保证绕线时具有一定的拉力。如果绕制小型线圈，电磁线较细，可用套管套在电磁线外面，绕线时用手握住套管，靠套管与电磁线之间的摩擦力也可夹紧，如图7－12所示，这样操作更方便。

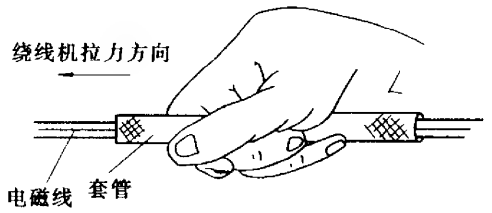


图 7－12　用手握套管的方法夹紧电磁线

(3) 绕线前，先将绑扎线放入扎线槽内，再把电磁线的起头固定在绕线机轴上或其他部位。电磁线的起头一般固定在绕线机的右手边。

(4) 绕线时，一般从

右向左绕。每绕完一个线圈时，要把电磁线从跨线槽过渡到相邻的模心上，并且用事先放好的绑扎线把这个已绕完的线圈捆好。

(5) 绕制同心式线圈时，一般先绕小线圈，再绕中线圈，后绕大线圈。

(6) 每个极相组（线圈组）的线圈连绕时，过线不用套绝缘管。每相的线圈连绕时，极相组之间一般要套绝缘管。

若需套绝缘管，应在绕制线圈前，首先根据一次连绕的极相组的个数确定所需绝缘管的数量，并按所需规格剪制好绝缘管，依次套入电磁线。绕制时，绕制完一个极相组后，移出近处的一个绝缘管，按规定留出连接线长度，并固定在绕线模特制的柱销上，再绕制下一个极相组。

(7) 按上述步骤依次绕完其余的线圈。

(8) 线圈绕满规定的匝数后，留足尾线，但不要过长，以免浪费。

(9) 用原嵌入扎线槽内的绑扎线扎好线圈，以防散乱。然后就可退出绕线模，取出线圈。

四、绕制线圈时应注意的事项

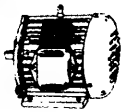
(1) 绕线速度不宜过快。绕制线圈时必须将电磁线排列整齐，避免交叉混乱，否则将使嵌线困难，并容易造成匝间短路。

(2) 电磁线的规格及线圈匝数必须符合设计要求，否则将会影响电机的性能。

(3) 绕线时必须保护电磁线的绝缘，不允许有点滴破损。

(4) 电磁线的接头必须安排在线圈端部斜边处进行焊接，并套上绝缘管，电磁线的接头不可安排在槽内。

第8章 绕组的嵌线工艺



第1节 常用嵌线工具

手工嵌线工具比较简单，常用的有压线板、划线板、穿针等。凡是与线圈接触的工具，均须圆角、表面光滑，以免损伤电

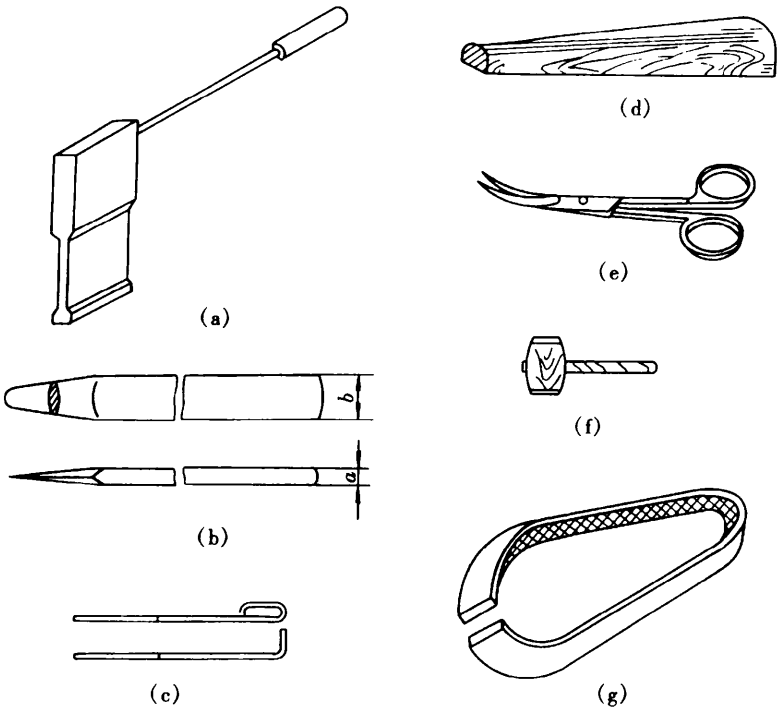


图 8-1 常用嵌线工具

(a) 压线板；(b) 划线板；(c) 穿针；(d) 打板；(e) 剪刀；(f) 木榔头；(g) 刮线刀

磁线的绝缘。常用嵌线工具如图 8－1 所示。

（1）压线板。压线板（又称压线脚、线压子）如图 8－1（a）所示，是嵌线时用来压紧槽内电磁线的工具，以便槽绝缘封口和打入槽楔。压线板一般是用钢板做成的，其压脚宽度为槽上部宽度减去 0.6～0.7mm 为宜，长度以 30～60mm 较为适宜。

（2）划线板。划线板（又称滑线板、理线板）如图 8－1（b）所示，一般用层压玻璃布板或竹板制成。划线板是用来理顺电磁线使其入槽的工具。嵌线时，可用划线板劈开槽口的绝缘纸，把堆积在槽口的电磁线理齐，并推向槽内两侧，使槽外的电磁线容易入槽。另外可用它把槽内的电磁线理顺，以免交叉。划线板的厚薄应合适，一般要求能划入槽内 2/3 处。

另外还有一些其他工具，如打板是用硬木做的，供整理线圈端部呈喇叭口所用；手术弯头长柄剪刀用于剪去引槽纸及修剪相间绝缘纸；穿针用于封槽时折叠槽绝缘，以便打入槽楔；刮线刀用来刮除电磁线外包绝缘等。

第 2 节　嵌线的技术要求

绕组嵌线包括把线圈或导体嵌入铁心槽内，整理和扎紧线圈端部，以及把各个线圈连接成为绕组等工艺过程。

绕组嵌线一般应符合下列技术要求：

（1）线圈的节距或跨距、连接方式、引出线与出线孔的相对位置必须正确。嵌入槽内的线圈匝数须准确。

（2）绝缘应良好可靠。绝缘材料的质量和结构尺寸须符合规定。在嵌线过程中，槽口的绝缘最易受机械损伤，造成击穿事故。另外，线圈的绝缘易被锐器划伤，造成匝间短路故障。因此嵌线时均应特别注意。

（3）槽绝缘伸出铁心两端的长度应相等。绕组两端应对称，绕组端部的长度和内径须符合规定。

（4）槽内电磁线及绕组端部电磁线应排列整齐，无严重交叉

现象，端部绝缘形状应符合规定。

(5) 槽楔在槽中应松紧合适，槽楔不能突出槽口，并且伸出铁心两端的长度应相等。

(6) 接头应焊接良好，以免产生过热或发生脱焊断裂等事故。

(7) 嵌线之前，用压缩空气将铁心吹干净，槽内不应有毛刺及焊渣。嵌线时，应严防铁屑、铜末、焊渣等混入绕组。

第3节 嵌线前的准备工作

(1) 仔细检查清理铁心。铁心表面和槽内如有凸出之处，须修锉平整，用压缩空气吹净铁屑杂物。清理工作不应在嵌线区进行。

(2) 准备好所需工具和材料。常用材料有槽绝缘、端部相间绝缘、层间绝缘、绝缘套管、槽楔和扎带等。

绝缘材料的规格和尺寸应符合要求。某些纤维材料在剪切时，应注意其纤维方向，以获得最好的机械强度。例如，玻璃纤维布应按与纤维成 45° ± 2°方向剪切，使它作绝缘时，不易在底部裂开。绝缘材料加工场所应注意清洁干燥。

槽楔最好外购，采用引拔槽楔。也可用竹板自制竹楔。首先将竹板截成槽楔所需的长度（等于或略小于槽绝缘纸的长度），用锤子敲打电工刀将竹板劈成竹楔所需尺寸的半成品。然后用右手握住电工刀紧靠在桌边，左手拿住半成品的竹楔沿箭头方向拉，如图 8－2（a）所示。先削出竹楔厚度（注意保留竹皮表面，因这部分质地密实），再削出两侧斜面，使竹楔断面呈半圆形或等腰梯形，如图 8－2（c）所示。为了保证向槽内打入槽楔时顺利，避免刮破绝缘，槽楔的一端应倒角。

(3) 检查线圈。首先核对所用线圈与定子铁心是否相等。然后对线圈本身的绝缘进行仔细检查，如有破损处，须用相同绝缘等级的绝缘材料修补，以保证绝缘良好。

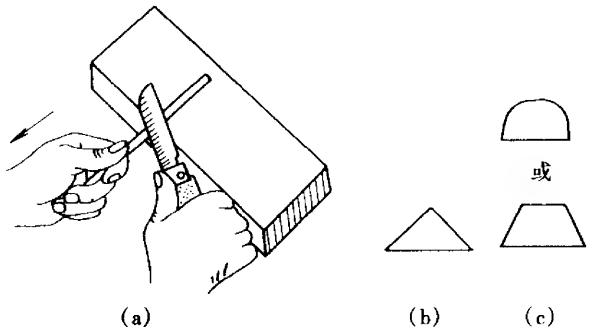


图 8－2　削竹楔方法及竹楔断面形状

(a) 削竹楔的方法；(b) 错误的断面形状；(c) 正确的断面形状

(4) 熟悉图纸。应了解电动机极数、绕组节距、引线方向、并联支路数、绕组排列、端伸尺寸等，以及其他有关技术要求，以免在嵌线中发生差错。

第4节　配置绝缘

绝缘材料的耐热等级（简称绝缘等级）决定了电动机运行时的温升限度（又称极限工作温度）。允许温升限度高，用一定数量的有效材料就可以设计和制造成较大容量的电动机，即可以提高有效材料的利用率。因此，采用较高耐热等级的绝缘材料，提高电动机的绝缘等级，以提高电动机的综合技术经济指标，是电动机生产的发展趋势。

电动机常用绝缘材料的耐热等级见表 8－1。在老系列（如 J2、JO2 系列）异步电动机中，采用的是 E 级绝缘；而在新系列（如 Y 系列）异步电动机中，采用的是 B 级绝缘。

表 8－1　　绝缘材料的耐热等级

耐热等级代号	极限工作温度（℃）	绝缘材料举例
Y	90	未浸渍过的棉纱、丝及纸等材料或其组合物，如棉纱、布带、木头等

续表

耐热等级代号	极限工作温度（℃）	绝缘材料举例
A	105	浸渍过的或者浸在液体电介质中的棉纱、丝及纸等材料或其组合物，如漆布、漆绸等
E	120	合成有机薄膜、合成有机瓷漆等材料或其组合物，如玻璃布、环氧树脂等
B	130	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等，以及其他无机材料、合适的有机材料或其组合物
F	155	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母，玻璃纤维、石棉等，以及其他无机材料、合适的有机材料或其组合物，如云母带、玻璃漆布
H	180	用有机硅树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等材料或其组合物，如硅有机材料、有机硅云母制品，复合云母
C	180以上	纯无机材料，如云母、玻璃、石棉、石英、陶瓷和特殊有机材料（如聚四氟乙烯等）

一、绝缘结构

在异步电动机定子绕组中，单层绕组的绝缘结构如图 8－3

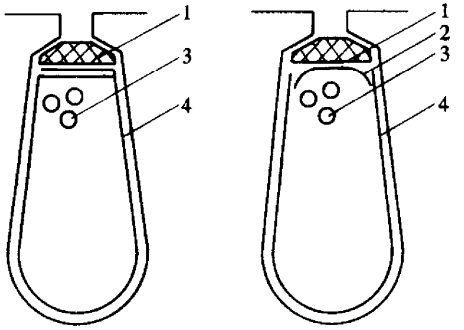


图 8－3　单层绕组的绝缘结构

1—槽楔；2—盖槽绝缘；3—绕组；4—槽绝缘

所示，双层绕组的绝缘结构如图 8－4 所示。

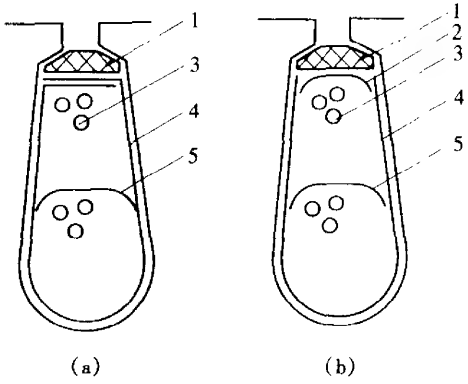


图 8－4　双层绕组的绝缘结构

1—槽楔；2—盖槽绝缘；3—绕组；4—槽绝缘；5—层间绝缘

二、绝缘规范

1．J2、J02 系列电动机的绝缘规范

（1）定子线圈。定子线圈由 QQ 型或 QZ 型高强度漆包线绕制而成。

（2）槽部绝缘。槽部绝缘（简称槽绝缘）采用槽绝缘不出槽口，在槽楔下加 U 形垫条（即盖槽绝缘）的方案。这个方案比槽绝缘折弯交叠的方案可减少槽绝缘高度方向的厚度，提高槽的利用率。不同机座号的电动机其槽绝缘规范见表 8－2。

表 8－2　　J2、JO2 系列电动机定子绕组槽绝缘规范

机座号	槽 绝 缘 形 式	总厚度（mm）
1～2	0.22mm 聚酯薄膜复合绝缘纸	0.22
3～5	0.27mm 聚酯薄膜复合绝缘纸	0.27
6～9	0.15mm 三聚氰胺醇酸黄玻璃漆布与 0.27mm 聚酯薄膜复合绝缘纸	0.42

（3）相间绝缘。绕组端部各相之间采用一层与槽绝缘相同规格的聚酯薄膜复合绝缘纸。其形状要与线圈端部的形状相同，但尺寸要比线圈端部大。

（4）层间绝缘。当采用双层绕组时，同一个槽内上、下两层之间垫入一层0.27mm的聚酯薄膜复合绝缘纸，其长度约等于线圈的直线部分的长度。

（5）槽楔。槽楔采用厚度为2.5mm或4mm的梯形竹楔，经变压器油煮煎处理而成，槽楔下衬垫材料规格与槽绝缘相同。

（6）引接线。引接线系采用电缆，其连接部位在端部绑扎时一起扎牢。

（7）端部绑扎。1～5号机座的电动机定子绕组端部用经浸1032漆处理的无碱玻璃丝带或玻璃丝套管疏绕扎紧；6～9号机座的电动机定子绕组端部必须绑扎牢。

（8）绝缘漆浸烘处理。定子绕组嵌线和接线后，浸1032漆两次。

2. Y系列电动机的绝缘规范

（1）定子线圈。定子线圈采用QZ－2型高强度聚酯漆包圆铜线绕制而成。

（2）槽绝缘。槽绝缘采用复合绝缘材料（DMDM或DMD），不同中心高的电动机其槽绝缘规范见表8－3。

表8－3　　Y系列电动机定子绕组槽绝缘规范　　mm

外壳防护等级	中心高	槽绝缘形式及总厚度				槽绝缘均匀伸出铁心二端长度
		DMDM	DMD＋M	DMD①	DMD＋DMD	
IP44	80～112	0.25	0.25 (0.20＋0.05)	0.25		6～7
	132～160	0.30	0.30 (0.25＋0.05)			7～10
	180～280	0.35	0.35 (0.30＋0.05)			12～15
	315	0.50			0.50 (0.20＋0.30)	20

续表

外壳防护等级	中心高	槽绝缘形式及总厚度				槽绝缘均匀伸出铁心二端长度
		DMDM	DMD + M	DMD①	DMD + DMD	
IP23	160 ~ 225	0.35	0.35 (0.30 + 0.05)			11 ~ 12
	250 ~ 280		0.40 (0.35 + 0.05)		0.40 (0.20 + 0.20)	12 ~ 15

① 0.25mmDMD 其中间层薄膜厚度为 0.07mm；D—聚酯纤维无纺布；M—6020 聚酯薄膜。

(3) 相间绝缘。绕组端部各相之间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料（DMDM 或 DMD），其形状要与线圈端部的形状相同，但尺寸要比线圈端部大。

(4) 层间绝缘。当采用双层绕组时，同一个槽内上、下两层线圈之间垫入与槽绝缘相同的复合绝缘材料（DMDM 或 DMD）作为层间绝缘，其长度约等于线圈的直线部分的长度。

(5) 槽楔。槽楔采用冲压成型的 MDB（M、D 和玻璃布 B 的复合物）复合槽楔或新型的引拔槽楔或 3240 环氧酚醛层压玻璃布板。中心高为 80 ~ 280mm 的电动机用厚度为 0.5 ~ 1.0mm 的成型槽楔或引拔槽楔，或厚度为 2mm 的 3240 板；中心高为 315mm 的电动机用厚度为 3mm 的 3240 板或引拔槽楔。冲压或引拔成型的槽楔，其长度与相应的槽绝缘相同；3240 板槽楔的长度比相应的槽绝缘短 4 ~ 6mm。槽楔下垫入长度与槽绝缘相同的盖槽绝缘。

(6) 引接线。引接线采用 JXN（JBQ）型铜芯橡皮绝缘丁腈护套电机绕组引接电缆，用厚 0.15mm 的醇酸玻璃漆布带或聚酯薄膜带将电缆和线圈连接处半叠包一层，外部再套醇酸玻璃漆管一层。如无大规格醇酸玻璃漆管，线圈连接处可用醇酸玻璃漆布带半叠包两层，外部再用 0.1mm 无碱玻璃纤维带半叠包一层。

（7）端部绑扎。中心高为 80～132mm 的电动机，定子绕组端部每两槽绑扎一道；中心高为 160～315mm 的电动机，定子绕组端部每一槽绑扎一道。对中心高为 180mm 的二极及中心高为 200～315mm 的二、四极电动机，定子绕组的鼻端用无碱玻璃纤维带半叠包一层。中心高为 315mm 的二极电动机，定子绕组端部外端用无纬玻璃带绑扎一层。在有引接线的一端，应将电缆和接头处同时绑扎牢，必要时应在此端增加绑扎层数（或绑扎道数）。绑扎用材料为电绝缘用的聚酯纤维编织带（或套管），或者用无碱玻璃纤维带（或套管）。

（8）绝缘漆浸烘处理。浸渍漆为 1032 漆时，采用二次沉浸处理工艺。采用 EIU、319－2 等环氧聚酯类无溶剂漆时，沉浸一次。

三、放置槽绝缘

槽绝缘在铁心槽内的放置如图 8－5 所示。确定槽绝缘尺寸须注意以下几点：

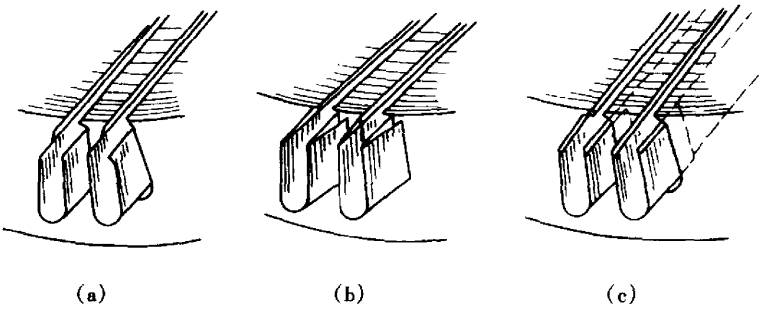


图 8－5　在铁心槽内放置槽绝缘

（a）槽绝缘直接伸出槽口；（b）槽绝缘反折回来，但未插入槽内；（c）槽绝缘反折回来，插入槽内

1．槽绝缘两端伸出铁心的长度

槽绝缘两端伸出铁心的长度要根据电动机容量的大小而定。伸出太短时，绕组对铁心的安全距离不够，同时端部相间绝缘无法垫好。伸出太长时，相应地要增加线圈直线部分的长度，造成

浪费，端盖也容易划伤绕组。常用异步电动机槽绝缘两端各伸出铁心的长度一般为 7.5～15mm 为宜。对于容量较小的电动机，不需要加强槽口绝缘的，槽绝缘只按上述要求伸出槽口即可，如图 8－5（a）所示；对于容量较大的电动机，为了加强槽口的绝缘及其机械强度，需将槽绝缘两端伸出部分折叠成双层（或只将聚酯薄膜折叠成双层），如图 8－5（b）和（c）所示。

2. 槽绝缘的宽度

槽绝缘的宽度有两种。一种是槽绝缘的宽度大于槽形的周长，即槽绝缘的高度超过气隙槽口，嵌线后将槽绝缘折入槽中，用槽楔压紧，如图 8－3（a）和图 8－4（a）所示；另一种是槽绝缘的宽度小于槽形的周长，即槽绝缘的高度不高出气隙槽口，嵌线时在槽口两侧垫上引槽纸（又称引线纸），如图 8－6 所示。嵌完线后，抽出引槽纸，插入盖槽绝缘（又称垫条），再用槽楔压紧，如图 8－3（b）和图 8－4（b）所示。

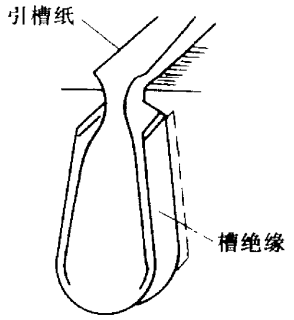


图 8－6　在槽口垫引槽纸

第 5 节　嵌线的一般过程及操作方法

嵌线工作需要耐心细致。有条不紊，精心操作。现以双层绕组为例，介绍其嵌线的一般过程及操作方法。

一、嵌线的一般过程

嵌线前定子要放在工作台上，引出线孔一般应在右手侧。把裁好的槽绝缘插入槽内，并使槽绝缘均匀伸出铁心两端。由于嵌线时，经常左右拉动线圈，易使槽绝缘走偏，因此每嵌完一个线圈边，要检查一下槽绝缘在槽中的位置。

放置好槽绝缘后，将线圈经槽口分散嵌入槽内。嵌线时，槽口须垫引槽纸（或将槽绝缘伸出槽口），以防槽口棱角刮伤电磁

线绝缘。虽然软绕组（即散嵌绕组）对电磁线排列无严格要求，但电磁线不能太乱，更不能交叉太多，以免槽内容纳不下和损伤电磁线绝缘。对于槽满率高的电机，尤其要注意将电磁线理得整齐些。

在嵌线过程中，须随时注意将绕组端部整形，两端长度须整齐对称，每嵌完一组线圈，即应压出线圈端部斜边。

双层绕组槽内层间绝缘须纵向弯成 U 形垫条插入槽内，包住下层线圈边，不允许有电磁线露在层间绝缘上面。当把线圈的上层边嵌入槽内后，将槽盖绝缘插入，或沿槽口用剪刀剪平槽绝缘纸，将槽口的槽绝缘纸摺边复叠入槽，折复槽绝缘须重叠 2mm 以上。再用压线板将其压平，然后打入槽楔，注意不得损伤电磁线和槽内绝缘。

绕组端部相间绝缘的放置有两种方法：一种是每嵌完一组即垫入，全部线圈嵌完后再校正、整理一遍；另一种是全部绕组嵌完后，用划线板撬开绕组端部，插入相间绝缘，这种方法在容量较小的电动机中较多采用。

垫入的相间绝缘必须到位。对于双层绕组，相间绝缘要与层间绝缘交叠；对于单层绕组，相间绝缘要与盖槽绝缘交叠。否则容易引起短路故障。

一般双层绕组，刚开始嵌的几个线圈，只嵌入下层边，而其上层边暂不嵌入槽内（称吊把），待最后一个线圈的下层边嵌入槽内后，再将吊把线圈的上层边嵌入槽内，如图 8－7（a）所示，这样嵌入的绕组端部均匀对称。否则，嵌入的绕组端部不均匀对称，如图 8－7（b）所示，既不便于绕组端部整形，也不利于散热。

二、操作方法

（1）引线处理。首先把绕好的线圈的引线理直，并套上玻璃漆管。

电动机嵌线可采用前进式或后退式嵌线，两种方式无明显的优劣而言，只随各自习惯而定。但通常较多采用后退式嵌线。嵌

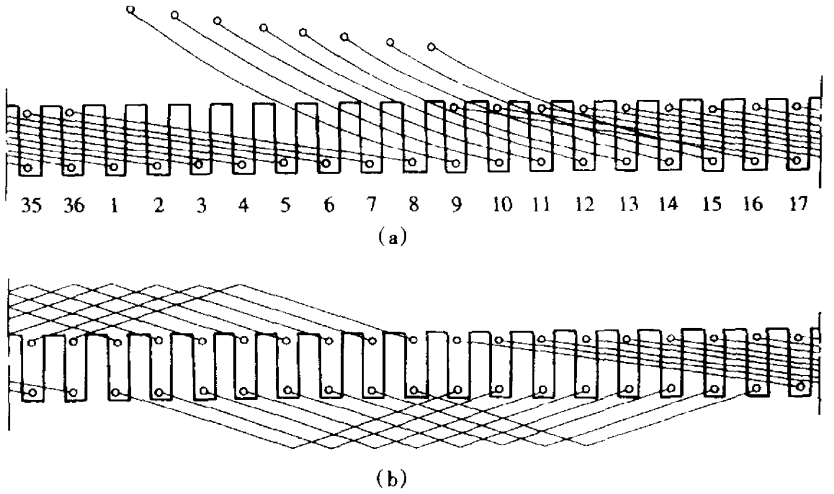


图 8－7　双层绕组排列方式

（a）全部线圈对称排列；（b）一部分线圈全嵌在槽底

线时，应使线圈之间的连接线（即过线）的跨距比线圈的节距大一槽，把连接线处理在线圈内侧，不致使连接线拱出在线圈外面，造成绕组端部外圆上的电磁线交叉而不整齐，双层棱形绕组端部排列如图 8－8（a）所示。如果线圈之间连接线的跨距比线圈节距少一槽，将使连接线拱在线圈外边，造成绕组端部外圆上的电磁线交叉而不整齐，如图 8－8（b）所示。

（2）线圈捏法。先将线圈宽度稍加压缩，对二极电动机而

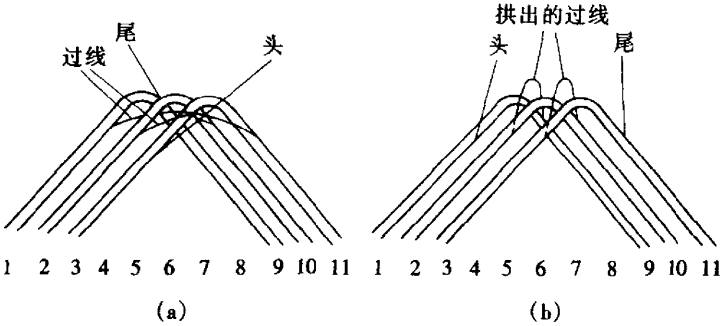


图 8－8　双层棱形绕组端部排列图

（a）正确；（b）不正确

言，线圈宽度要比定子铁心内径稍小一些，然后再用右手拇指和食指捏住线圈的下层边，左手捏住线圈的上层边，乘势将两条边扭一下，使上层边外侧电磁线扭在上面，下层边外侧电磁线扭到下面，如图 8－9（a）所示。

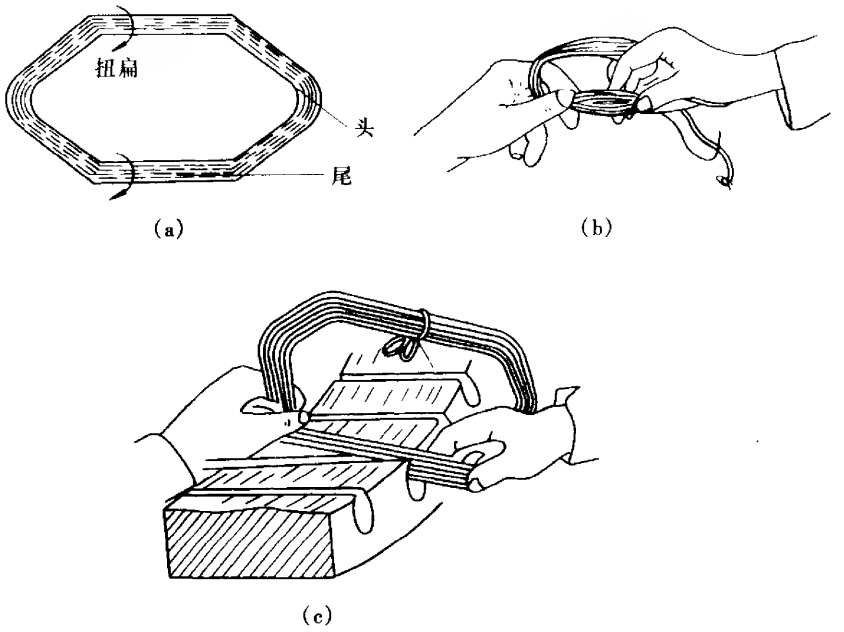


图 8－9　嵌线方法示意图

（a）扭转方向；（b）捏扁线圈；（c）将电磁线引入槽内

这种捏法是能否将线圈顺利嵌好，使电磁线排列整齐的关键措施之一。因为这样把线圈扭一下，使线圈端部扁而薄，便于第二个线圈的重叠。

如果嵌线时不按上述的捏法操作，则槽上部的电磁线势必拱起来。若按上述的捏法将线圈边扭一下，可使线圈内电磁线变位，线圈端部有了自由伸缩的余地，嵌线、整形就很便利，易于平整复贴。在扭线圈边的同时，将下层边的前方尽量捏扁，如图 8－9（b）所示，注意将引线放在第一根先嵌。然后，将该线圈边顺手推入槽口，此时左手在定子的另一端接住，尽可能地将下

层边一次拉入槽内，如图 8－9（c）所示，少数未曾拉入槽内的电磁线，可用划线板划入槽内。

（3）嵌线顺序。下面以节距 $y=8$ 的双层叠绕组为例，说明嵌线顺序。由于 $y=8$，所以第 1 个线圈的上层边应嵌入 1 号槽，而下层边应嵌入 9 号槽；同理第 2 个线圈的上层边应嵌入 2 号槽，而下层边应嵌入 10 号槽；以此类推，如图 8－7（a）所示。嵌线时，先分别嵌入前 8 个线圈的下层边，但该 8 个线圈的上层边暂时不能嵌入 1～8 号槽（称吊把或起把）要用纸将该 8 个上层边垫好，防止被铁心划伤。由于 9 号槽的下层边已嵌入线圈，所以第 9 个线圈的下层边嵌入 17 号槽后，即可将该线圈的上层边嵌入 9 号槽的上层。从嵌第一个下层边开始，就应将每个线圈的端部按下去一些，便于嵌线。在嵌完每一个线圈的上层边后，尤其在嵌完第一个上层边后，应用手掌将其端部按下去，用木锤把线圈端部打成合适的喇叭口，不得任其小于定子铁心的内圆，否则将使以后整个定子绕组嵌线困难。待最后一个线圈的下层边嵌入 8 号槽以后，再将前 8 个线圈的上层边依次嵌入 1～8 号槽。

（4）嵌线与理线。嵌线时，将线圈边推至槽口，理直电磁线，一只手的拇指和食指把线圈边捏扁、不断地送入槽内，同时，另一只手用划线板在线圈边两侧交替地划，引导电磁线入槽，当大部分电磁线嵌入槽内后，两掌向里和向下按压线圈端部，将线圈端部压下去一点，而且使线圈张开一些，不让已嵌入槽内的电磁线胀紧在槽口。理线时，应注意先划下面的几根，这样嵌完后，可使电磁线顺序排列，没有交叉。划线板运动方向如图 8－10（a）所示。

（5）电磁线压实。当槽满率较高时，可以用压线板压实，不可猛撬。定子较大时，可用小锤轻敲压线板，应注意绕组端部转角处往往容易凸起，使电磁线下不去，因此应用竹板垫住敲打此处。

（6）放置层间绝缘。在嵌完下层边后，即将层间绝缘弯成 U 形插入槽内，盖住下层边，应注意不能有电磁线露在层间绝缘上

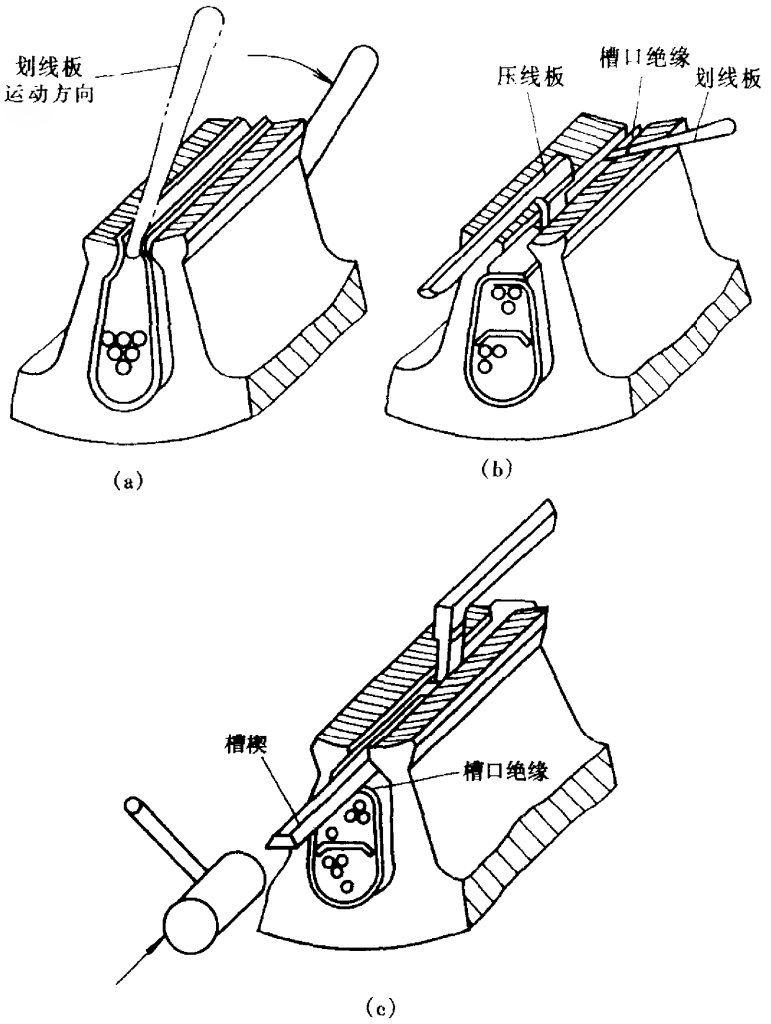


图 8－10　理线与封槽口

(a) 划线板运动方向；(b) 对折槽口绝缘；(c) 打入槽楔

面，否则，将造成击穿。层间绝缘须用压线板压实，也可用小锤敲压线板压实。

(7) 封槽口。槽内全部线圈嵌完以后，先将电磁线压实，然后将槽盖绝缘插入，或将槽口的槽绝缘对折包住电磁线，折复槽绝缘须重叠 2mm 以上，如图 8－10 (b) 所示。最后用压线板压

实绝缘，从一端打入槽楔，如图 8－10（c）所示，槽楔进槽后松紧要适当，注意不得损伤电磁线和绝缘。

（8）放置相间绝缘。绕组端部相间绝缘必须塞到与槽绝缘相接处，且压住层间绝缘。对于容量较大的电机，其线圈鼻端部分要包扎一下，以增加线圈之间的绝缘和线圈的机械强度。

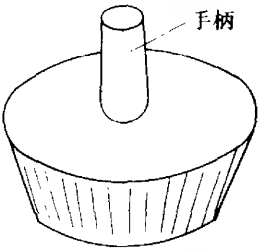


图 8－11　定子端部整形胎

（9）端部整形。线圈嵌完后，应检查相间绝缘是否垫好。有条件时，可用专用的整形胎（可用铝质或木质，形状如图 8－11 所示）压入绕组端部内圆。也可用木锤或垫着竹板将绕组端部打成喇叭口，如图 8－12 所示。并对绕组端部不规则部位进行修整。端部整形后，应重新检查相间绝缘是否错位或有无电磁线损坏。修剪相间绝缘时，应使边缘高出线圈 3～5mm。

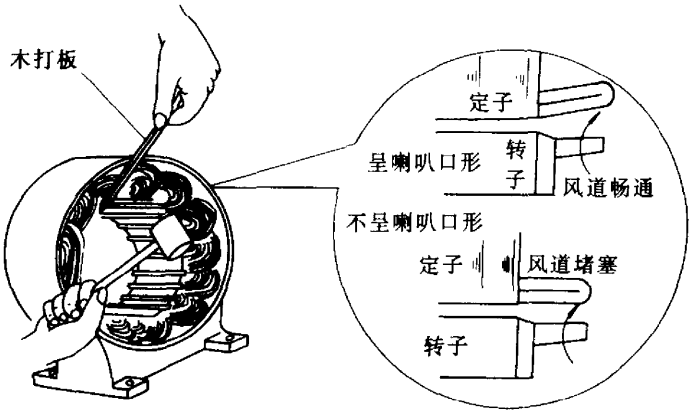


图 8－12　定子端部整形示意图

（10）端部包扎。除容量较大的电动机每个线圈的端部须包扎外，其余可在嵌完线后再进行统一包扎。因为定子绕组虽是静止不转动的，但电动机在起动、运行过程中，电磁线将受电磁力振动，故绕组端部必须包扎结实。

第6节　单层链式绕组的嵌线工艺

小型三相异步电动机当每极每相槽数 $q=2$ 时，定子绕组一般采用单层链式绕组。

现以定子槽数 $Z_1=24$、极数 $2P=4$、$q=2$、节距 $y=5$（即 $y=1-6$ 槽）、并联支路数 $a=1$ 的单层链式绕组为例加以说明，图 8-13 是该绕组的展开图。

1. 工艺要点

(1) 起把线圈（或称吊把线圈）数等于 q。

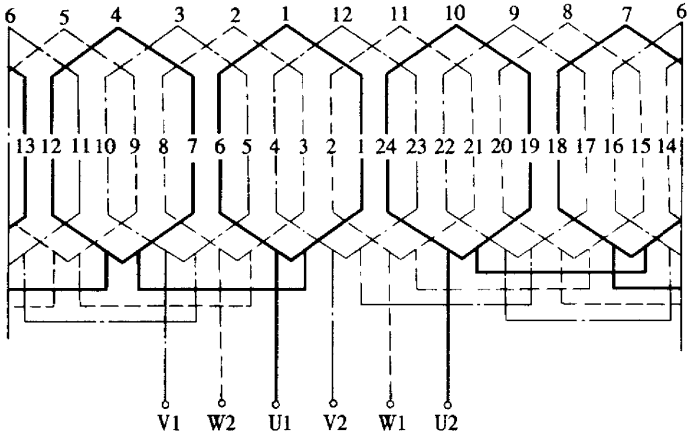


图 8-13　单层链式绕组展开图

($Z_1=24$，$2P=4$，$a=1$)

(2) 嵌完一个槽后，空一个槽再嵌另一相线圈的下层边（因它的端边压在下层，故称下层边）。

(3) 同一相绕组中各线圈组之间的连接线（又称为过桥线）为上层边与上层边相连，或下层边与下层边相连。各相绕组引出线的始端（相头）或末端（相尾）在空间互相间隔 120°电角度。

2. 嵌线工艺

(1) 先把第一相的第一个线圈 1 的下层边嵌入槽 6 内，封好

槽（整理槽内导线，插入槽楔），暂时还不能把线圈 1 的上层边嵌入槽 1（称为起把或吊把），因为线圈 1 的上层边要压着线圈 11 和线圈 12，所以要等线圈 11 和线圈 12 的下层边嵌入槽 2 和槽 4 之后，才能把线圈 1 的上层边嵌入槽 1。

（2）空一个槽（7 号槽）暂时不嵌线，将第二相的第一个线圈 2 的下层边嵌入槽 8 中，封好槽，线圈 2 的上层边暂时不嵌入槽 3 中，因为该绕组的 $q=2$，所以起把线圈有 2 个。

（3）再空一个槽（9 号槽），将第三相的第一个线圈 3 的下层边嵌入槽 10 中，封好槽；因为这时线圈 1 和线圈 2 的下层边已嵌入槽中了，所以线圈 3 的上层边可按 $y=1-6$ 的规定嵌入槽 5 中，封好槽，垫好相间绝缘。

（4）再空一个槽（11 号槽），将第一相的第二个线圈 4 的下层边嵌入槽 12 中，封好槽；然后将它的上层边按 $y=1-6$ 的规定嵌入槽 7 内。这时应注意与本相的第一个线圈的连线，即应上层边与上层边相连或下层边与下层边相连。

(5)以后各线圈的嵌线方法都和线圈 3、线圈 4 一样，按空一个槽嵌一个槽的方法，依次后退。轮流将第一、二、三相的线圈嵌完，最后把线圈 1 和线圈 2 的上层边（起把边）嵌入槽 1 和槽 3 中，至此整个绕组就全部嵌完。

第 7 节　单层交叉式绕组的嵌线工艺

小型三相异步电动机当 $q=3$ 时，定子绕组一般采用单层交叉式绕组。

现以 $Z_1=36$、$2P=4$、$q=3$、$y=\begin{cases}1-8/1\\1-9/2\end{cases}$的单层交叉式绕组为例，说明嵌线工艺。图 8-14 是该绕组的展开图。

1. 工艺要点

（1）起把线圈数为 $q=3$。

（2）一、二、三相依次轮流嵌。先嵌双圈，然后空一个槽，

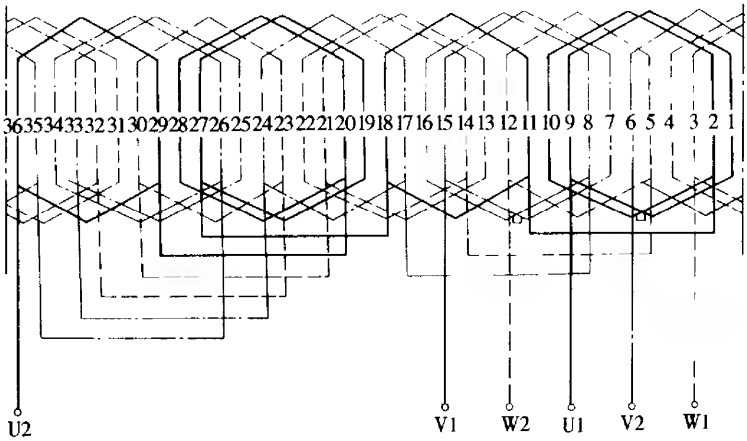


图 8－14　单层交叉式绕组展开图

（$Z_1 = 36$，$2P = 4$，$a = 1$）

嵌单圈，再空两个槽嵌双圈，再空一个槽嵌单圈，再空两个槽嵌双圈……直至全部线圈嵌完，最后落把。

（3）同一相绕组中各线圈组之间的连接是上层边与上层边相连，下层边与下层边相连。

2．嵌线工艺

（1）先把第一相的两个大线圈（称为双圈）中带有引线的下层边嵌入槽 9，封槽，它的上层边暂时不嵌（起把）；紧接着将另一个大线圈的下层边嵌入槽 10 内，封槽，上层边暂时也不嵌入（起把）。

（2）空一个槽（11 号槽），将第二相的小线圈（称为单圈）的下层边嵌入槽 12，封槽，上层边暂时不嵌入（起把）。

（3）再空两个槽（13 号槽和 14 号槽），将第三相的两个大线圈中的一个带有引出线的下层边嵌入槽 15，封槽，并按大线圈的节距 $y = 1 - 9$（即 $y = 8$）把它的上层边嵌入槽 7，封槽，垫好相间绝缘；紧接着将另一个大线圈的下层边和上层边分别嵌入槽 16 和槽 8 内，并封槽。

（4）再空一个槽（17 号槽），将第一相的小线圈的下层边嵌

入槽 18，封槽，这时应注意大圈与小圈的连接线，即上层边与上层边相连，下层边与下层边相连，然后按小圈的节距 $y=1-8$（即 $y=7$）把上层边嵌入槽 11 内，封槽，垫好相间绝缘。

（5）再空两个槽（19 号槽和 20 号槽），将第二相的两个大线圈中的一个带有引出线的下层边嵌入槽 21 内，封槽，并按节距 $y=1-9$ 的规律把上层边嵌入槽 13 内，封槽，垫好相间绝缘；紧接着将另一个大线圈的下层边和上层边分别嵌入槽 22 和槽 14 内，并封槽。

（6）再空一个槽（23 号槽），将第三相的小线圈的下层边和上层边分别嵌入槽 24 和槽 17 内，并封槽，垫好相间绝缘。嵌线时注意本相线圈的连线。

（7）再按上述方法，依次把第一、二、三相的线圈嵌入槽内，最后把第一、二相起把线圈的上层边分别嵌入槽 1、槽 2 和槽 5 内，并封槽，垫好相间绝缘。

第 8 节　单层同心式绕组的嵌线工艺

小型三相异步电动机当 $q=4$ 时，定子绕组一般采用单层同心式绕组。

现以 $Z_1=24$、$2P=2$、$q=4$、$y=\begin{cases}1-12\\2-11\end{cases}$ 的单层同心式绕组为例，说明嵌线工艺。图 8-15 是该绕组的展开图。

1. 工艺要点

（1）起把线圈数为 $q=4$。

（2）在同一个线圈组中，嵌线顺序是先嵌小线圈，再嵌大线圈。

（3）嵌线的顺序是嵌两个槽，空两个槽。

（4）同一相绕组中各线圈组之间的连接，应该是上层边与上层边相连，下层边与下层边相连。

2. 嵌线工艺

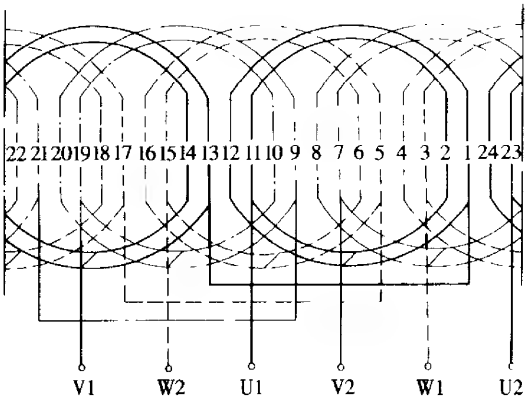


图 8－15　单层同心式绕组展开图

（$Z_1 = 24$，$2P = 2$，$a = 1$）

（1）先把第一相第一组的小线圈带有引出线的下层边嵌入槽 11 内，封槽，上层边暂不嵌入槽 2 内（起把）。紧接着将大线圈的下层边嵌入槽 12 内，封槽，上层边也暂不嵌入槽 1 内。

（2）空两个槽（13 号槽和 14 号槽），把第二相第一组线圈的两个下层边（先小线圈，后大线圈）嵌入槽 15、槽 16 内，封槽，它们的上层边也暂不嵌入槽 6 和槽 5 内。

（3）再空两个槽（17 号槽和 18 号槽），把第三相第一组线圈中的小线圈带有引出线的下层边嵌入槽 19 内，封槽。并根据 $y = 2 - 11$，把小线圈的上层边嵌入槽 10 内，封槽；然后再把该组线圈中的大线圈的下层边嵌入槽 20 内，封槽。并根据 $y = 1 - 12$，把大线圈的上层边嵌入槽 9 内，整理好端部，封槽，垫相间绝缘。

（4）按空两个槽，嵌两个槽的方法，依次把其余的线圈嵌完，最后把第一、二相起把线圈的上层边嵌入槽 2、1 和槽 6、5 内。

第9节　单层绕组穿线、嵌线工艺

上述三种单层绕组嵌线方法，连线都要事先套好套管，而且较长，连线之间还会出现交叉现象。因此，目前我国许多电机厂采用了单层绕组穿线工艺。在嵌线之前，先把三相绕组按一定的规律穿好，然后把穿好的线圈按次序嵌入槽内。采用穿线、嵌线工艺，连线不需要套套管，还可以节省接线和焊接工时，节省铜线和提高绕组质量。

一、36槽三相四极单层交叉式绕组穿线、嵌线工艺

（1）线圈绕制工艺。一相有六个线圈，连续绕成，中间无接头，不经焊接。图8－16是绕好的一相线圈，其中W1与W2是大线圈，跨距为1～9槽，W3、W6是小线圈，跨距为1～8槽，W4与W5为大线圈，跨距为1～9槽。绕后的线圈绕向一致，但绕组连接时应一正一反（即一个是S极，一个是N极），所以嵌线前还要穿线使各相的大线圈与小线圈的绕向相反。U相、V相绕线方法与W相相同。

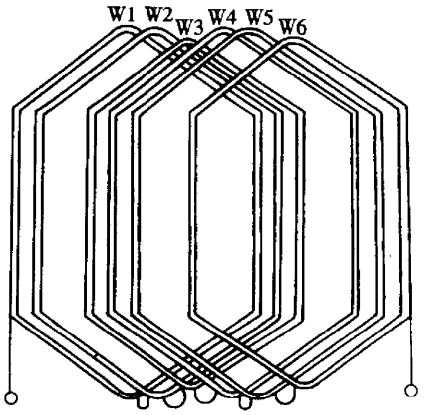


图8－16　绕好的一相线圈

（2）将W1～W5从W6中穿过，再将W1、W2从W3中穿过。最后整理如图8－17所示。U相、V相穿线工艺与W相完全

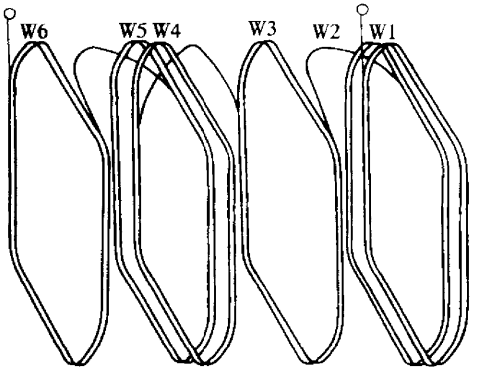


图 8－17　线圈最后整理

相同。

（3）先嵌 U 相。将 U1、U2 的下层边分别嵌入槽 9 和槽 10 内，封槽，如图 8－18 所示。U1、U2 的上层边暂不嵌入槽 1 和槽 2 内。

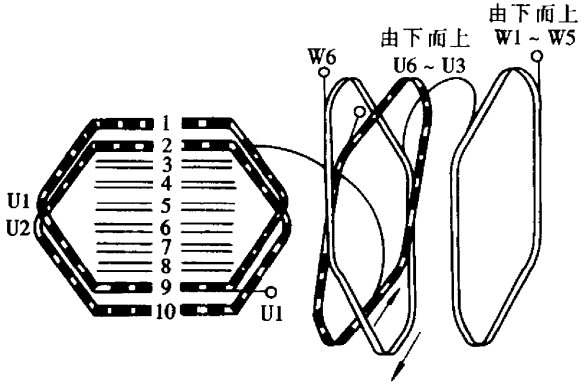


图 8－18　先嵌 U1、U2

（4）准备嵌 W6。嵌之前应将 U3～U6 一起从 W6 中穿过。穿好线后，将 U3～U6 放在 W1～W5 左侧，空出槽 11，将 W6 的下层边嵌入槽 12 内，封槽，W6 的上层暂不嵌入槽 5 内。

（5）准备嵌 V1、V2。嵌入之前，将 W1～W5 一起从 V1、V2 中穿过，同时把 U3～U6 一起从 V1、V2 中穿过，如图 8－19 所

示。穿好线后，将 U3～U6、W1～W5 顺序放在 V3～V6 左侧，空出槽 13 和槽 14，将 V1、V2 分别嵌入槽 15、7；16、8 中，封槽，垫相间绝缘。

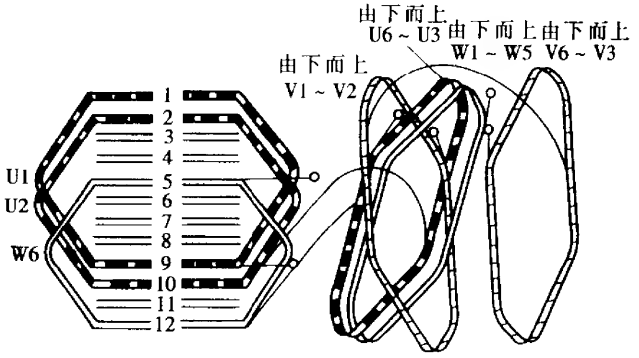


图 8－19　将 W1～W5、U3～U6 从 V1、V2 中穿过

（6）准备嵌 U3。嵌之前将 W1～W5、V3～V6 同时从 U3 中穿过，如图 8－20 所示。穿好线后，将 W1～W5、V3～V6 顺序放在 U4～U6 左侧，空出槽 17，将 U3 嵌入槽 18、11 中，封槽，垫相间绝缘。

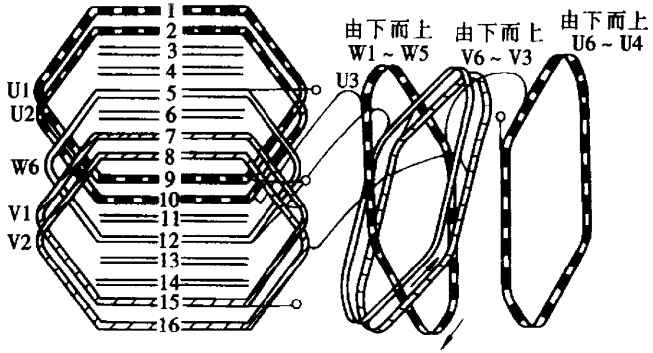


图 8－20　将 W1～W5、V3～V6 从 U3 中穿过

（7）准备嵌 W5、W4。嵌之前将 V3～V6、U4～U6 同时从 W5、W4 中穿过，如图 8－21 所示，穿好线后，将 V3～V6、U4～U6顺序放在 W1～W3 的左侧，空出槽 19 和槽 20，将 W5、

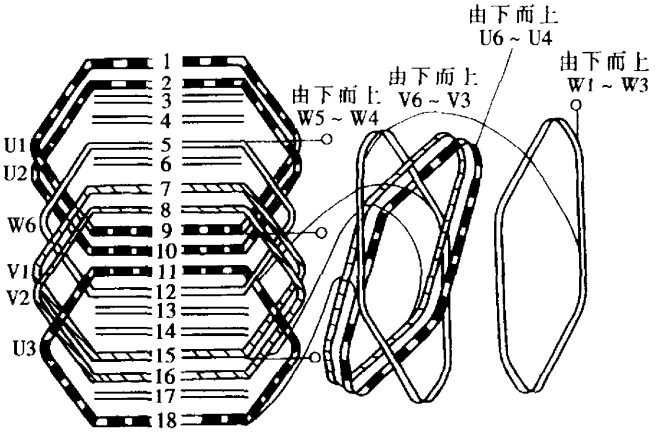


图 8 - 21　将 V3 ~ V6、U4 ~ U6 从 W5、W4 中穿过

W4 分别嵌入槽 21、13；22、14 中，封槽，垫相间绝缘。

以后按空一个槽，嵌一个小线圈，空两个槽，嵌两个大线圈的规律，依次将三相线圈嵌完。

绕组展开图如图 8 - 22 所示。

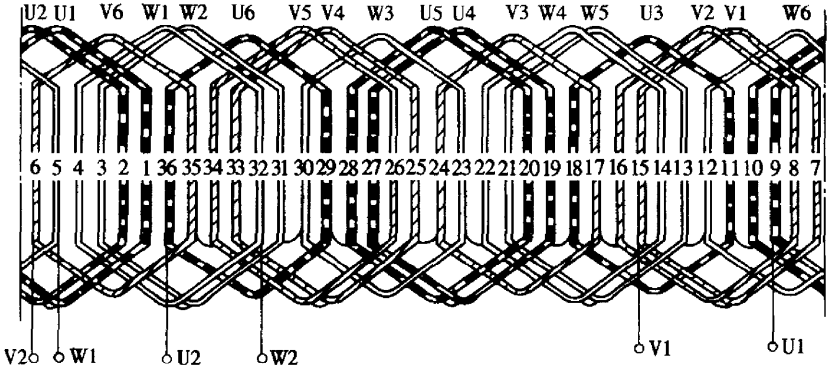


图 8 - 22　36 槽三相四极单层交叉式绕组展开图

二、24 槽三相二极单层同心式绕组穿线、嵌线工艺

（1）线圈绕制工艺。一相有四个线圈，连续绕成，中间无接头，不经焊接。图 8 - 23 是绕好的一相线圈，其中 W1 与 W4 是小线圈，跨距为 2 ~ 11 槽，W2 与 W3 是大线圈，跨距为 1 ~ 12

槽。绕后的线圈绕向一致，相邻的一个大线圈与一个小线圈为一个线圈组，但两个线圈组相连接时应一正一反（即一个是 N 极，一个是 S 极），所以嵌线前还要穿线，使各线圈组的绕向相反。U 相、V 相绕线方法与 W 相相同。

(2) 将 W1 ~ W3 从 W4 中穿过，如图 8 - 24 所示。然后将 W4 的上、下线圈边翻转 180°，仍然放在 W3 的左侧。

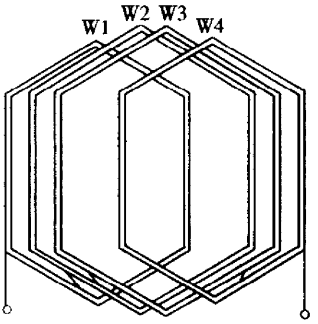


图 8 - 23　绕好的一相线圈

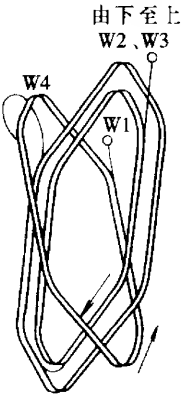


图 8 - 24　将 W1 ~ W3 从 W4 中穿过

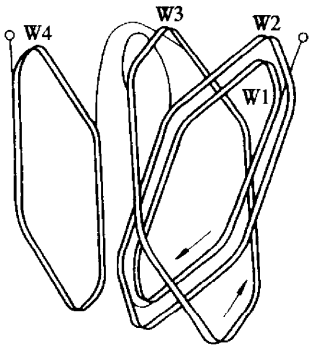


图 8 - 25　将 W1、W2 从 W3 中穿过

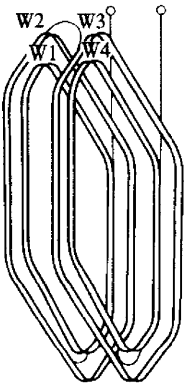


图 8 - 26　穿线完毕后的一相线圈

(3) 将 W1、W2 从 W3 中穿过，如图 8 - 25 所示。然后将 W3 的上、下线圈边翻转 180°，仍然放在 W2 的左侧。一相绕组穿线完毕后的线圈位置及连接线的关系如图 8 - 26 所示。U 相、

V 相绕组穿线工艺与 W 相完全相同。

(4) 先嵌 U 相。将 U1、U2 的两个下层边分别嵌入槽 11、12 中（U1 有引出线的线圈边先嵌入槽 11），封槽。U1、U2 的另外两个上层边暂时还不能嵌入槽 1、2 中。

(5) 准备嵌 W1、W2。嵌 W1、W2 之前应将 U3、U4 从 W1、W2 中穿过，如图 8－27 所示。穿好线后，将 U3、U4 放在 W3、W4 的左侧，空出槽 13、14，然后将 W1、W2 分别嵌入槽 15、16 中（W1 有引出线的线圈边先嵌入槽 15），封槽。W1、W2 的另外两个上层边暂时还不能嵌入槽 5、6 中。

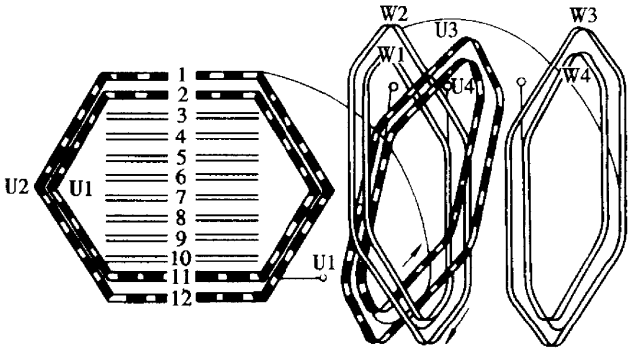


图 8－27　将 U3、U4 从 W1、W2 中穿过

(6) 准备嵌 V1、V2。在嵌 V1、V2 之前，应将 U3、U4、W3、W4 同时从 V1、V2 中穿过，如图 8－28 所示。穿好线后，将 U3、U4、W3、W4 放在 V3、V4 的左侧，空出槽 17、18，然后将 V1、V2 分别嵌入槽 19、10；20、9 中（V1 有引出线的线圈边先嵌入槽 19），封槽，垫相间绝缘。

(7) 准备嵌 U3、U4。在嵌 U3、U4 之前，应将 W3、W4、V3、V4 同时由 U3、U4 中穿过，如图 8－29 所示。穿好线后，将 W3、W4、V3、V4 放在一旁，空出槽 21、22，将 U3、U4 分别嵌入槽 23、14；24、13 中（U4 有引出线的线圈边先嵌入槽 23），封槽，垫相间绝缘。

(8) 准备嵌 W3、W4。在嵌 W3、W4 之前，应将 V3、V4 由

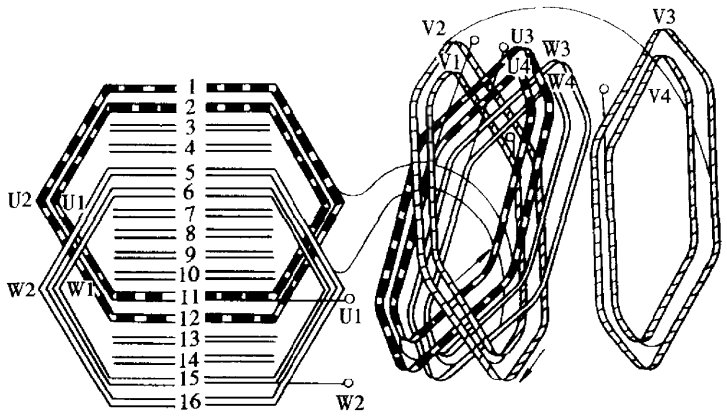


图 8－28　将 U3、U4、W3、W4 从 V1、V2 中穿过

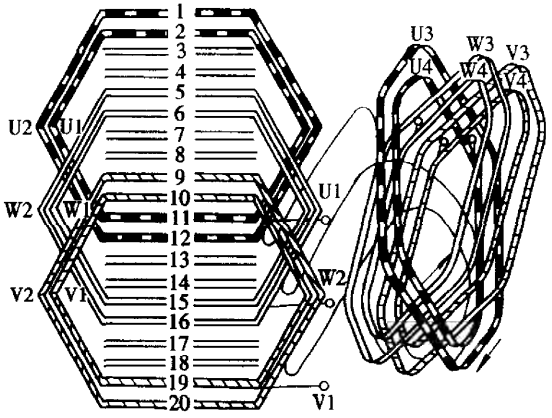


图 8－29　将 W3、W4、V3、V4 从 U3、U4 中穿过

W3、W4 中穿过，如图 8－30 所示。穿好线后，将 V3、V4 放在一旁。然后将 W3、W4 分别嵌入槽 3、18；4、17 中（W4 有引出线的线圈边先嵌入槽 3），封槽，垫相间绝缘。

（9）将 V3、V4 分别嵌入槽 7、22；8、21 中（V4 有引出线的线圈边先嵌入槽 7），封槽，垫相间绝缘。

（10）最后再将 U1、U2 的另外两个线圈边分别嵌入槽 1、2 中，将 W1、W2 的另外两个线圈边分别嵌入槽 5、6 中，封槽，并分别垫入相间绝缘，即得到如图 8－31 所示的 24 槽三相二极

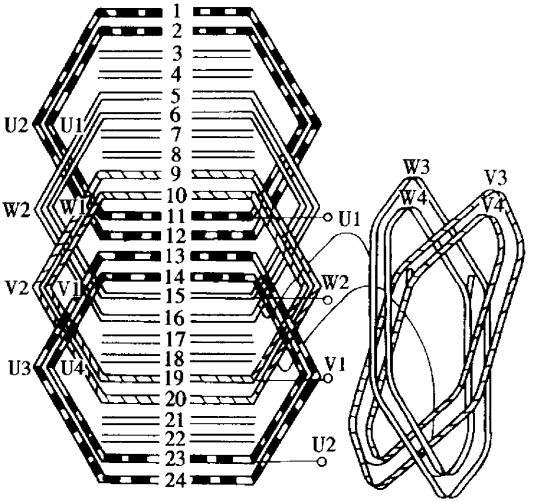


图 8－30　将 V3、V4 从 W3、W4 中穿过

单层同心式绕组展开图。

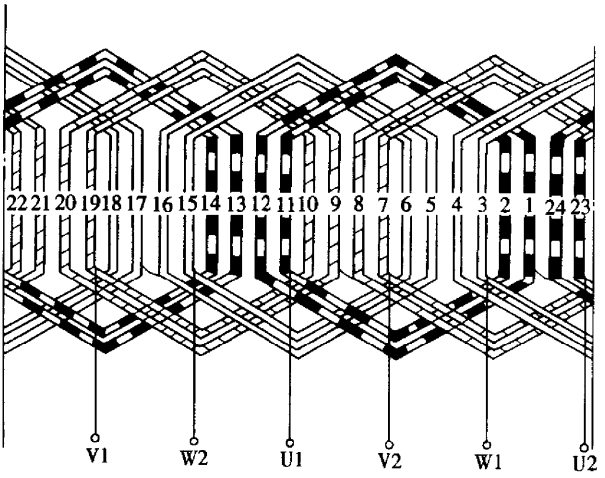


图 8－31　24 槽三相二极单层同心式绕组展开图

第 10 节　双层叠绕组的嵌线工艺

容量较大的中小型异步电动机定子绕组一般采用双层叠绕组。现以 $Z_1 = 36$、$2P = 4$、$q = 3$、$y = 8$（即 $y = 1 - 9$ 槽）的双层叠绕组为例，说明嵌线工艺。

双层叠绕组展开图如图 8 - 32 所示，其嵌线工艺如下：

（1）在开始嵌线时，首先要确定暂时不嵌的起把线圈数，即应有 y 个线圈（本例中有 8 个线圈）的上层边暂时不嵌。只依次嵌入它们的下层边。每个下层边嵌进槽以后，都要在它的上面盖好层间绝缘并压紧。

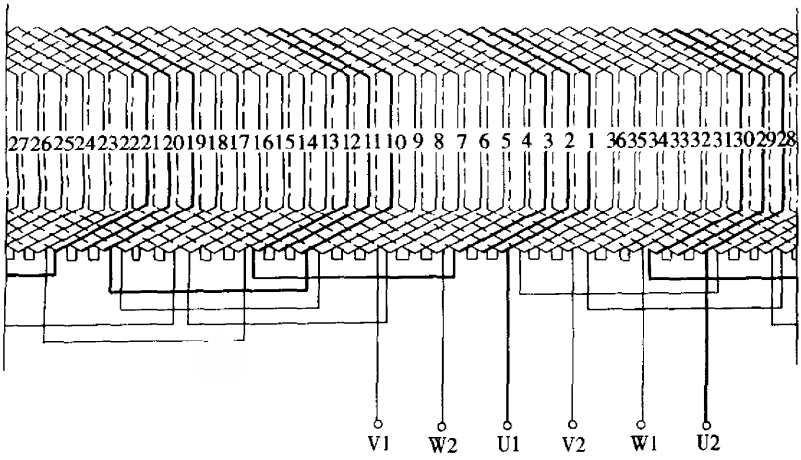


图 8 - 32　双层叠绕组展开图

（$Z_1 = 36$，$2P = 4$，$a = 1$）

如本例中首先将第一相的第一个线圈组中的线圈 1、2、3 的下层边依次嵌入槽 9、10、11 内，而这些线圈的上层边，由于压着线圈 29、30、31……36 等 8 个线圈的下层边，所以暂时还不能嵌入相应的槽 1、2、3 中去。同理只能依次将线圈 4、5、6、7、8 的下层边嵌入槽 12、13、14、15、16 的下层，而它们的上层边暂时也不能嵌入相应的槽中。

(2) 因为开始的起把线圈的数目为 $y=8$，所以从线圈 9 开始，将它的下层边嵌入槽 17 后，接着就可以把它的上层边嵌入槽 9 中，封槽。

(3) 依次嵌入其后的各个线圈的下层边与上层边。注意，每个线圈的上层边嵌入后，都要封槽；每个线圈组嵌完后，都要垫相间绝缘。

(4) 直到全部线圈的下层边都嵌入定子槽以后，方可把起把的 y 个线圈的上层边依次嵌入相应的槽内，封槽。

(5) 同一相的各线圈组之间的连接，按反向串联的规律，即上层边与上层边相连，下层边与下层边相连，见图 8-32。

第 11 节　单双层混合绕组的嵌线工艺

现以 $Z_1=36$、$2P=4$、$y=\begin{cases}1-9\\2-8\end{cases}$的单双层混合绕组为例，说明嵌线工艺。该绕组的展开图如图 4-13 所示。

1. 工艺要点

(1) 大线圈的匝数等于每槽导体数，小线圈的匝数等于每槽导体数的 1/2。

(2) 大线圈节距为 8，为单层；小线圈节距为 6，为双层。

(3) 在同一个线圈组中，嵌线的顺序是先嵌小线圈，再嵌大线圈。

(4) 嵌线的顺序是嵌两个槽，空一个槽。

(5) 同一相绕组中，各线圈组之间的连线规律是头接头、尾接尾，即上层边与上层边相连，下层边与下层边相连。

2. 嵌线工艺

(1) 先把第一相的第一组线圈（一大一小）中带引线的小线圈的下层边嵌入槽 8 内，盖好层间绝缘并压紧，上层边暂时不嵌，再接着把大线圈的下层边嵌入槽 9 内，封槽，上层边暂时不嵌，即槽 2 和槽 1 暂空（起把）。

(2) 空一个槽（10 号槽），把第二相的第一组线圈的两个下层边分别嵌入槽 11 和槽 12 内，上层边暂时不嵌，即槽 5 和槽 4 暂空（起把）。

(3) 再空一个槽（13 号槽），把第三相的第一组线圈中的小线圈的下层边嵌入槽 14 内，盖好层间绝缘并压紧，并按 $y=2-8$ 把上层边嵌入槽 8 内，封槽；再接着把大线圈的下层边嵌入槽 15 内，封槽，并按 $y=1-9$ 把上层边嵌入槽 7 内，封槽，垫相间绝缘。

(4) 按空一个槽嵌两个槽的方法，依次把其余的线圈嵌完，最后把第一、二相的起把线圈的上层边分别嵌入槽 1、2、4、5 内，封槽。

第 12 节　三相绕组的连接

绕组连接工作是当嵌线完成后把每个线圈按 q 值和线圈分配规律接成极相组，然后再把属于同相的极相组进行串联、并联、混连接成相绕组，再将三相绕组接成△、Y 或△连接，最后将三相 6 根引出线（或 9、12 根引出线）接在出线盒的接线板上。

从我国主要电机厂的生产工艺来看，单层绕组一般采用一相连绕的工艺（如穿线嵌线工艺所需线圈），这时线圈的连接不经过极相组的连接，直接将三相的相绕组接成△、Y 或△连接。

通常的接线方式有显极和庶极（或称隐极）两种。

在一个极面下属于同一相的所有线圈串联在一起称为一个极相组。例如在图 8-33 所示的一台四极电极中，一相有四个极相组，而每一个极相组中有两个线圈。

对于图 8-33 所示的四极电机，为保证 N 极和 S 极互相交替排列，相邻的两个极相组中电流的方向必须相反。例如，在 N 极下极相组中电流是逆时针方向，则在相邻的 S 极下极相组中电流就必须为顺时针方向。在连接各极相组时，必须顺着电流方

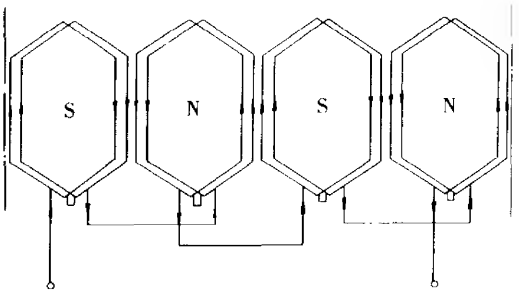


图 8－33　四极电机显极接线方式

向。一般称每个极相组（或线圈）中左侧的引线为头，右侧的引线为尾。所以从图 8－33 中可以看出，各极相组之间的连接，必须是头接头、尾接尾，这是绝大多数电动机极相组接线的一般规律，称为显极接线方式。

图 8－34 也是一台四极电机，但是只有两个极相组，在这种情况下，两个极相组中的电流方向必须相同，才能产生四极磁场。如图 8－34 中所示各极相组中电流的方向都是顺时针的，在顺着电流方向连接极相组时，就必须头接尾、尾接头，这是一般规律之外的特例，称为庶极（或隐极）接线方式。这种接法一般不使用，而在单绕组变极多速电机中会经常遇到。

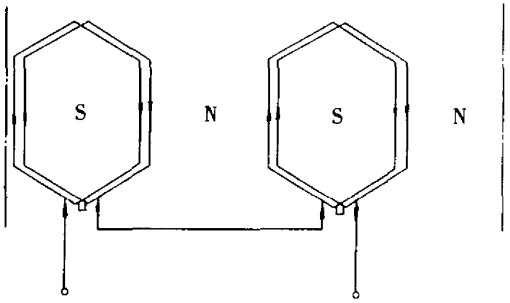


图 8－34　四极电机庶极接线方式

为了简便起见，在实际接线中，均绘制接线简图指导接线。下面以图 8－33 为例，绘制接线简图。

（1）因为定子绕组相数 $m=3$，电动机极数 $2P=4$，则 $2Pm$

$=4\times3=12$，所以在圆周上画 12 条短线，表示 12 个极相组，如图 8－35 所示。

（2）在短线下面标出相序，顺序为 U、V、W、U、V、W……。

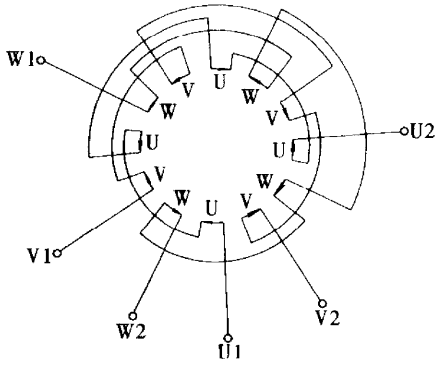


图 8－35　三相四极电机接线简图

（3）在短线上画出箭头，表示接线的方向，顺序为一正一反，一正一反……。

（4）按照箭头所指的方向，把 U 相接好。一般以顺时针方向看图 8－35 中的各极相组的两端，先看到的一端称为该极相组的头，后看到的一端称为尾。从图 8－35 中可以看出，U 相的连接规律为头接头、尾接尾。

（5）根据 U、V、W 三相绕组应互差 120°电角度的原则，在此例中，$2P=4$，总的电角度为 $P\times360°=2\times360°=720°$，极相组数为 12，故两相邻极相组间电角度为 $720°/12=60°$。则 V 相首端滞后 U 相首端两个极相组；W 相首端滞后 V 相首端两个极相组。然后按照 U 相连接方式，分别将 V 相和 W 相接好。

为了得出三相绕组首端互差 120°电角度，可以有各种引出线的位置。如图 8－36 所示的接线简图中，V 相首端滞后 U 相首端 120°电角度，W 相首端超前 U 相首端 120°电角度，这样三相首端仍互差 120°电角度，同样可以产生三相旋转磁场。这种接线方式，6 根引出线靠得较近，引线也较短，可以节省引出线，也便

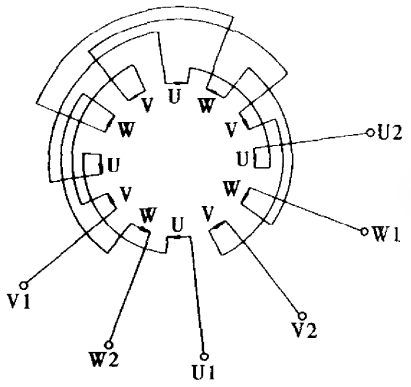


图 8－36　四极电机接线简图

于包扎，故被较多的工厂采用。

在较大容量的电动机中，由于每相绕组通过的电流较大，因此就必须选用较粗的导线，但是导线直径过大会造成嵌线困难，故在双层绕组中，大多采用每相绕组由两个或两个以上的支路进行并联，以减小导线直径。几个支路并联连接的原则是：

（1）各支路均顺着接线简图中箭头方向连接，并联时使得各支路箭头均是由该相首端到末端。

（2）并联后各支路极相组数相等。

这里仍以三相四极电机为例，按照上面所说的原则接成两个支路并联。首先将每相绕组的极相组分别串联为两个支路，再将两个支路并联，其方法有两种，一种是短连接，另一种是长连接。

短连接是每一个支路的所有极相组集中在定子圆周的一半，即把相邻的极相组串联为一条支路，如图 8－37（a）所示。长连接是每一支路的所有极相组分布在整个定子圆周上，即隔极相组串联为一条支路，如图 8－37（b）所示。

上述两种接法效果是相同的，均符合以上原则。这样，每相绕组电流分两条支路流过，每条支路电流仅为相电流的一半，导线截面积也减少一半。

前面是以整数槽三相绕组的连接为例进行介绍的，对于分数槽三相绕组的连接，除每个极相组（即线圈组）所串联的线圈数不同外，其连接方法与整数槽相同。

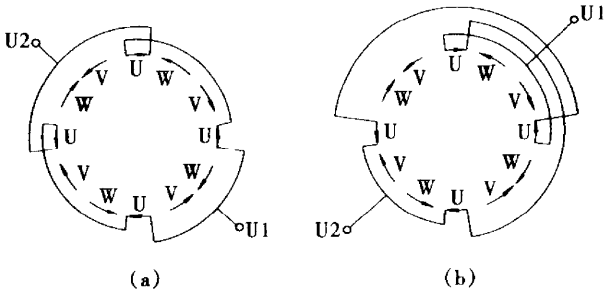


图 8－37　四极电机并联接线简图

(a) 短连接；(b) 长连接

第 13 节　单绕组变极多速三相异步电动机嵌线工艺与接线方法

三相笼型单绕组变极多速异步电动机是一种只有一套定子绕组，通过变换定子绕组的外部接线，使定子绕组的极对数得到改变，从而获得多种转速的电动机。它属于有级调速设备，具有简单、可靠、高效及易于绕制的优点，在许多工业领域的变速拖动中有着广泛应用。

一、变极调速的原理

当三相异步电动机定子绕组通以三相交流电流时，就能在电动机的气隙中产生一个以同步转速转动的旋转磁场。其同步转速 n_s（r/min）与电源频率 f、定子绕组的极对数 p 有如下关系

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

由上述关系式可以看出：当电源频率 f 一定时，同步转速 n_s 与极对数 p 成反比。因此，只要设法改变三相笼型异步电动机定子绕组的极对数 p，就可以改变同步转速 n_s，从而改变电动机的转速 n。

改变定子绕组极对数，一般有以下三种方法：

(1) 在定子槽内放置一套绕组，改变其不同的接线组合，得到不同的极对数，即单绕组多速电动机。

（2）在定子槽内放置两套具有不同极对数的独立绕组，即双绕组双速电动机。

（3）在定子槽内放置两套具有不同极对数的独立绕组，而且每套绕组又可以有不同的接线组合，得到不同的极对数，即双绕组多速电动机。

上述三种改变定子绕组极对数的方法中，第一种方法最简易实用，因为它绕制简单，出线头较少，用铜量也较省，所以被广泛采用。下面介绍这种单绕组多速异步电动机的变极原理和方法。

1. 反向变极法

反向变极法是单绕组多速异步电动机变极方法中最常用的一种。反向变极法是利用将每相绕组中的部分线圈中的电流反向的原理改变定子绕组极对数的，它既可用于倍极比（2/4 极、4/8 极等）单绕组多速电动机，也可用于非倍极比（4/6 极、6/8 极等）单绕组多速电动机。

倍极比是指定子绕组的极对数变更时成整倍数关系，倍极比双速电动机是单绕组多速电动机中最基本、应用最广泛的一种电动机。倍极比单绕组双速电动机的定子绕组通常都以少极数为基准极，用庶极接法获得倍极。

我们以最简单的 2/4 极来说明反向变极法的原理。图 8－38 为一台 2/4 极电动机反向变极法的原理示意图。图中一相绕组由两个元件（每个元件代表一个线圈组）构成。两个元件在图 8－38（a）和（b）中以不同的方法连接，每根元件边产生的磁场方向以⊙或⊗表示。由图 8－38 中可以清楚地看出，两个元件如图 8－38（a）那样连接将产生一对极（2 极）；两个元件接法如换成图 8－38（b）所示，则可产生两对极（4 极），即定子绕组的极对数增加了一倍。

比较图 8－38（a）和（b）可知，定子绕组极对数加倍的原因在于相绕组的一半电流反了向，所以称这种变极方法为反向变极法。

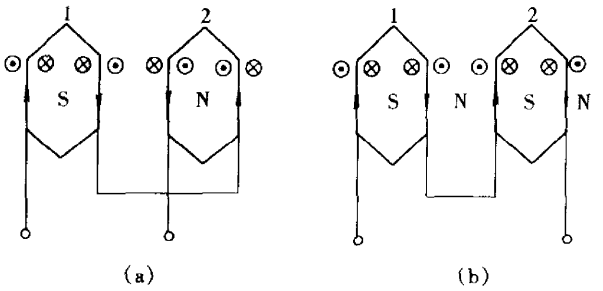


图 8－38　2/4 极电动机反向变极法的原理示意图

(a) 2 极；(b) 4 极

利用反向变极法，除了得到倍极比单绕组多速异步电动机外，还可以得到非倍极比单绕组多速异步电动机。图 8－39 为一台 4/6 极电动机反向变极法的原理示意图。

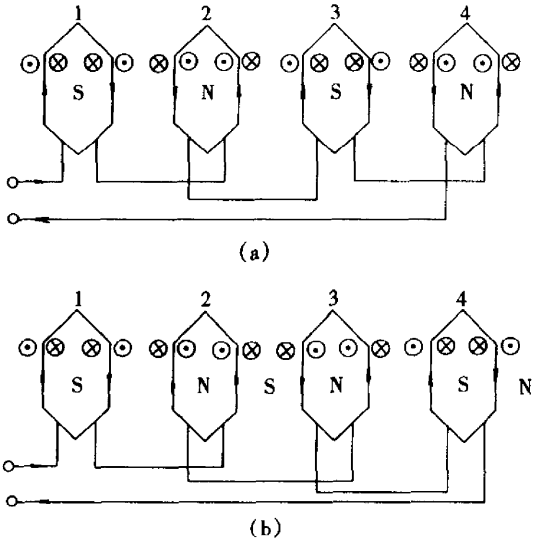


图 8－39　4/6 极电动机反向变极法的原理示意图

(a) 4 极；(b) 6 极

图 8－39 中一相绕组由 4 个元件构成。当 4 个元件按照图 8－39 (a) 所示连接时，将产生两对极 (4 极)；如果将四个元

件的连接换成图 8－39（b）所示，即将元件 3 和元件 4 中的电流反向，则可产生三对极（6 极）。

对于图 8－39（a）所示的 4 极电动机，如果将元件 2 和元件 4 中的电流反向，则可以构成 4/8 极倍极比单绕组双速异步电动机，其原理示意图如图 8－40 所示。

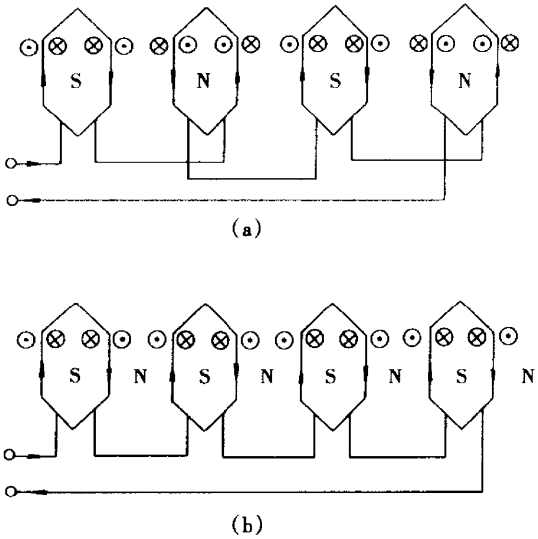


图 8－40　4/8 极电动机反向变极法的原理示意图

（a）4 极；（b）8 极

由以上分析可知，反向变极法的特点是：在保证定子绕组中各个线圈所属相号不变的条件下，通过接线的变化，改变部分线圈中的电流方向，从而达到变极的目的。

2. 换相变极法

上述反向变极法获得的单绕组多速电动机绕组，优点是出线头较少（双速电动机仅需 6 根），制造和控制均比较方便。但是，绕组分布系数总是受到一定限制，两种极数不能同时做到较高的分布系数，因而电动机的性能受到一定影响。换相变极法就是针对这一问题而提出的另一种变极方法。

换相变极法与反向变极法的不同点在于：变极时不仅改变部

分线圈的电流方向，而且改变某一部分线圈所属相号。用换相法获得的单绕组多速异步电动机绕组，不同极数都可保持较高的分布系数，电动机的性能较好，从而弥补了反向变极法的不足。

换相变极法的缺点是出线头较多，制造和控制不如反向变极法方便。因此在单绕组双速异步电动机中，换相变极法很少被采用。但是，在单绕组三速异步电动机中，这个缺点相对地不太明显，因而换相变极法有一定的应用。

3. 不同节距变极法

在槽电动势矢量图能得到三相对称的条件下，单一绕组用两种不同节距相结合，也可以达到变极的目的。这种变极方法称为不同节距变极法。用这种方法获得的单绕组三速异步电动机出线头为9根，比换相变极法少，绕组的分布系数也比较高。

现以一台36槽电动机为例，欲绕制成一台2/4/8极单绕组三速异步电动机。排列绕组时，如果选定2极为正规60°相带绕组，用庶极法获得4极，那么用通常的反向变极法在4极的基础上再获得8极就不行了，但是用不同节距变极法却可以再获得8极。

图8-41和图8-42分别示出了2极和4极时一相绕组的槽电流图。图中实线为线圈上层边电流，虚线为线圈下层边电流，从图中可以看出，节距 $y=9$。

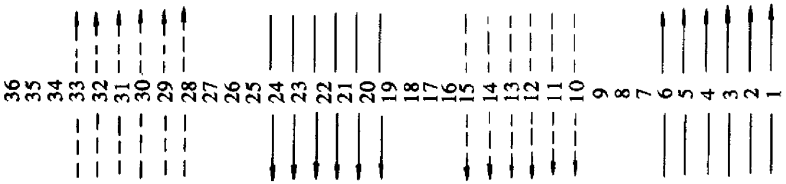


图8-41　2/4/8极电动机2极时的槽电流图（一相）

（$Z_1=36$，$2P=2$）

现在的问题是：如何在庶极接法的4极基础上再获得8极？为此可仔细观察图8-42所示4极时的槽电流分布情况，如果设

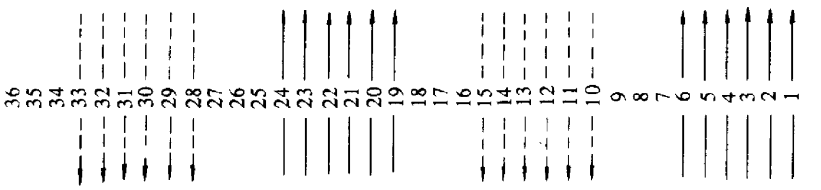


图 8－42　2/4/8 极电动机 4 极时的槽电流图（一相）

（$Z_1 = 36$，$2P = 4$）

想 4、5、6、10、11、12 以及 22、23、24、28、29、30，这 12 个槽内电流能反向成为图 8－43 所示，显然一相绕组的槽电流就形成了 8 个极。同理，三相绕组的槽电流产生的磁场合成，则能形成 8 个极的旋转磁场。

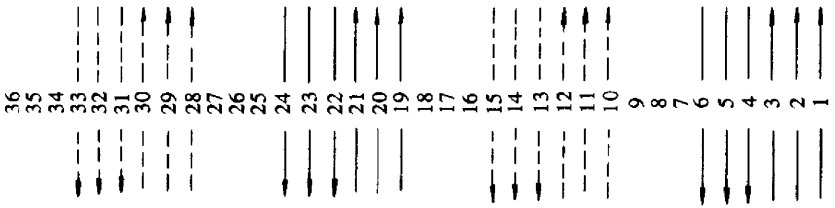


图 8－43　2/4/8 极电动机 8 极时的槽电流图（一相）

（$Z_1 = 36$，$2P = 8$）

为了使上述 12 个槽电流能反向，而其余 12 个槽电流不反向，可以把槽 4、5、6 内上层的导体与槽 10、11、12 内下层的导体构成一个线圈组，并将槽 22、23、24 内上层的导体与槽 28、29、30 内下层的导体构成一个线圈组，该两个线圈组为小线圈组，节距 y_1 等于 6。然后再将剩下的槽 1、2、3 内上层的导体与槽 13、14、15 内下层的导体构成一个线圈组，将槽 19、20、21 内上层的导体与槽 31、32、33 内下层的导体构成一个线圈组，该两个线圈组为大线圈组，节距 y_2 等于 12。

按上述方法，可将一相绕组分成两个小线圈组和两个大线圈组，形成了两个不同的节距。这种不同节距对 2、4 极槽电流分布没有影响，但却保证了在庶极接法的 4 极基础上能够再通过反

向获得 8 极。

采用反向变极法和不同节距变极法得到的 36 槽 2/4/8 极单绕组三速异步电动机一相绕组的展开图如图 8－44 所示。

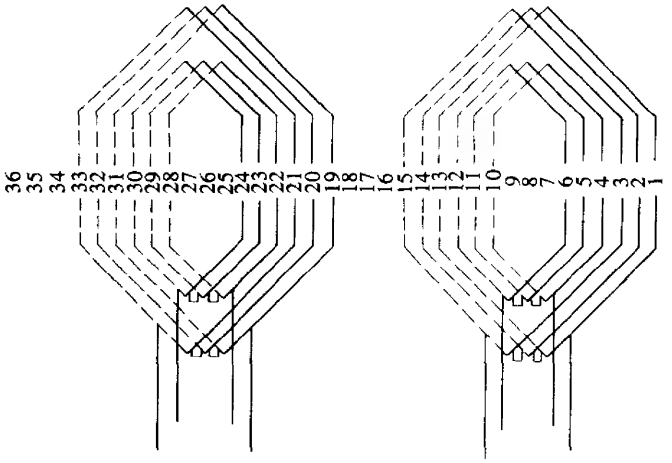


图 8－44　2/4/8 极电动机一相绕组展开图

（$Z_1 = 36$，$y_1 = 6$，$y_2 = 12$）

二、单绕组变极多速三相异步电动机嵌线工艺

单绕组变极多速三相异步电动机的定子绕组一般采用双层叠绕组。根据各线圈节距是否相同，又可分为等节距双层叠绕组和不同节距双层叠绕组两类。

关于等节距双层叠绕组，其嵌线工艺与普通三相异步电动机双层叠绕组嵌线工艺相同，故本节不再赘述。

下面以 $Z_1 = 36$，$y_1 = 6$，$y_2 = 12$ 的 2/4/8 极单绕组三速异步电动机为例，介绍不同节距双层叠绕组嵌线工艺。

图 8－45 是一台 36 槽 2/4/8 极不同节距双层叠绕组展开图。该电动机定子绕组共有 12 个线圈组，其中 6 个小线圈组节距为 $y_1 = 6$，6 个大线圈组节距为 $y_2 = 12$。大、小线圈组均由 3 个线圈构成，故取 $q' = 3$。

1. 工艺要点

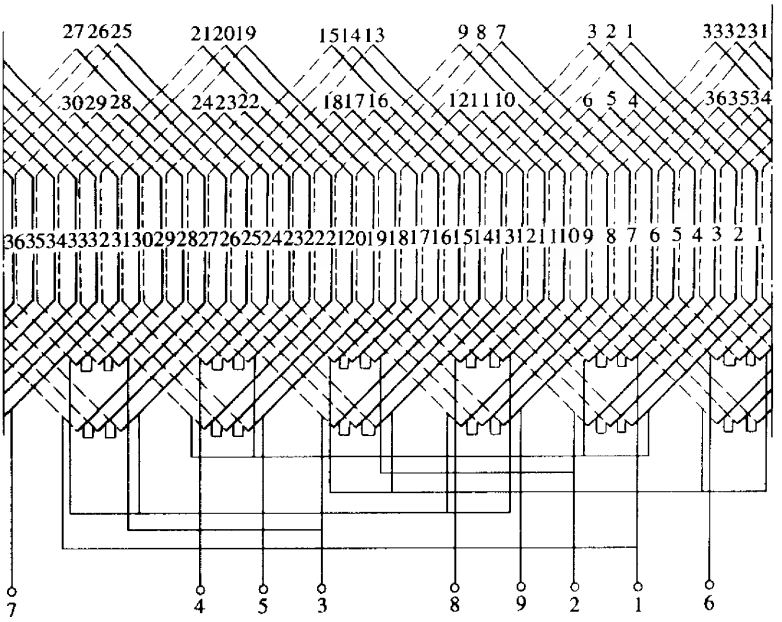


图 8－45　不同节距双层叠绕组展开图

（$Z_1 = 36$，$2P = 2/4/8$）

（1）起把线圈数 $y_2 - q' = 12 - 3 = 9$。

（2）嵌线顺序先嵌一个小线圈组，再嵌一个大线圈组，然后再嵌一个小线圈组……，即大、小线圈组交替嵌入。直至全部线圈嵌完，最后落把。

2. 嵌线工艺

（1）先嵌由线圈 4、5、6 构成的小线圈组。将线圈 4 的下层边嵌入槽 10 内，在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧。根据 $y_1 = 6$ 可知，线圈 4 的上层边应嵌入槽 4，但是，由于线圈 34 的下层边还未嵌入槽 4 内，所以线圈 4 的上层边暂时不嵌入（起把）。

（2）接着依次将线圈 5、6 的下层边嵌入槽 11、12 内，在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧。同理，线圈 5、6 的上层边暂时不能嵌入槽 5、6 内（起把）。

（3）第一个小线圈组嵌入后，再嵌由线圈 1、2、3 构成的大线圈组。将线圈 1 的下层边嵌入槽 13 内，在线圈上面盖好层间

绝缘，并压紧。根据 $y_2 = 12$ 可知，线圈 1 的上层边应嵌入槽 1，但是，由于线圈 25 的下层边还未嵌入槽 1 内，所以线圈 1 的上层边暂时不嵌入（起把）。

（4）接着依次将线圈 2、3 的下层边嵌入槽 14、15 内，在线圈的上面盖好层间绝缘，并压紧。同理，线圈 2、3 的上层边暂时不能嵌入槽 2、3 内（起把）。再在两个线圈组之间垫上相间绝缘。

（5）第一个大线圈组嵌入后，再嵌由线圈 10、11、12 构成的小线圈组。将线圈 10 的下层边嵌入槽 16 内，在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧。根据 $y_1 = 6$ 可知，线圈 10 的上层边应嵌入槽 10 的上层。因为刚才已将线圈 4 的下层边嵌入槽 10 的下层了，所以，现在可以将线圈 10 的上层边嵌入槽 10 内，并封槽。

（6）接着依次将线圈 11、12 的下层边嵌入槽 17、18 内，在线圈的上面盖好层间绝缘，并压紧。同理，线圈 11、12 的上层边可以分别嵌入槽 11、12 内，并封槽，再垫好相间绝缘。

（7）小线圈组嵌入后，再嵌由线圈 7、8、9 构成的大线圈组。将线圈 7 的下层边嵌入槽 19 内，在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧。根据 $y_2 = 12$ 可知，线圈 7 的上层边应嵌入槽 7 内，但是，由于线圈 31 的下层边还未嵌入槽 7 内，所以线圈 7 的上层边暂时不嵌入（起把）。

（8）接着依次将线圈 8、9 的下层边嵌入槽 20、21 内，在线圈的上面盖好层间绝缘，并压紧。同理，线圈 8、9 的上层边暂时不能嵌入槽 8、9 内（起把）。再在两个线圈组之间垫上相间绝缘。

（9）大线圈组嵌入后，再嵌由线圈 16、17、18 构成的小线圈组。此时，由于起把线圈数已达 9 个，所以各线圈的下层边和上层边均可同时嵌入相应的槽内。嵌线时应注意，每个线圈应逐个嵌入，先嵌入下层边，在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧。然后再嵌入上层边，并封槽。

（10）根据大、小线圈组交替嵌入的原则，依次嵌入其后的

各个线圈组。嵌线时应注意，每个线圈的下层边嵌入槽内后，要在线圈上面盖好层间绝缘，并压紧；每个线圈的上层边嵌入槽内后，都要封槽；每个线圈组嵌完后，都要垫相间绝缘。

(11) 直到全部线圈的下层边都嵌入定子槽内以后，方可把起把的9个线圈的上层边依次嵌入相应的槽内，并封槽。

(12) 各线圈组之间按照图8-45连接，最后引出9根引线，并分别按照图8-45编号。

三、单绕组变极多速三相异步电动机接线方法

单绕组变极多速三相异步电动机变极方案有许多种，因此，对应的接线方法也有许多种。不同的变极方案可以得到不同的运行性能，下面将单绕组变极多速三相异步电动机应用得较多的几种接线方法分别予以说明。

1. 单绕组变极双速三相异步电动机接线方法

对于单绕组变极双速三相异步电动机，一般均采用反向变极法，反向变极法的特点是变极时每相线圈都有一半电流反向，这个反向可以通过适当的接线变换来实现。

单绕组变极双速三相异步电动机用的较多的连接方法有2Y/△和2Y/Y两种，引出线为6根，如图8-46所示。

在图8-46中分别用虚线和实线表示不同连接时的电流方向

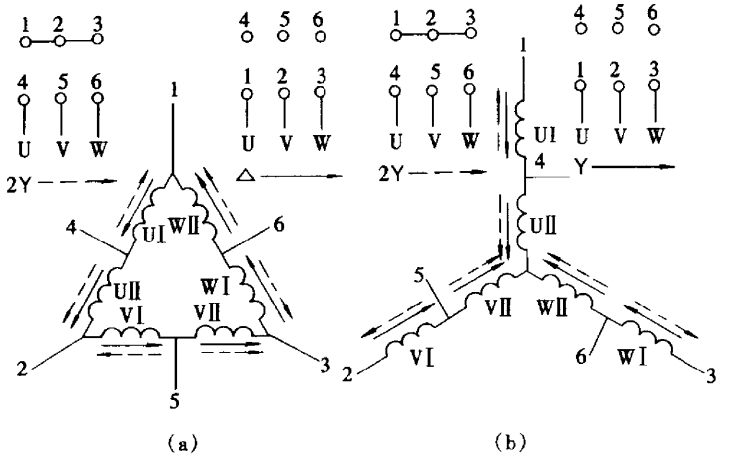


图8-46 单绕组变极双速异步电动机绕组接法

(为便于比较起见，Y和△连接一律用电流的正方向)。图中UⅠ、UⅡ各表示U相的一半线圈，V、W两相也是如此。由图8－46可以清楚地看出，不同接法时UⅠ、VⅠ、WⅠ各线圈中电流反了向，即各相一半线圈中电流反了向。

下面举例说明具体接线方法。

一台36槽4/8极单绕组变极双速异步电动机，接线方式采用2Y/△连接。

根据槽电动势矢量图，可以列出全部绕组排列表，见表8－4。

表8－4　　36槽4/8极双速电动机绕组排列表

槽　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4　极	u	u	u	－w	－w	－w	v	v	v	－u	－u	－u
8　极	u	u	u	w	w	w	v	v	v	u	u	u
反向指示				*	*	*				*	*	*
槽　号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4　极	w	w	w	－v	－v	－v	u	u	u	－w	－w	－w
8　极	w	w	w	v	v	v	u	u	u	w	w	w
反向指示				*	*	*				*	*	*
槽　号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4　极	v	v	v	－u	－u	－u	w	w	w	－v	－v	－v
8　极	v	v	v	u	u	u	w	w	w	v	v	v
反向指示				*	*	*				*	*	*

观察绕组排列表，U相在4/8极时反向的是10、11、12，28、29、30六槽，应作为UⅠ；不反向的是1、2、3，19、20、21六槽，应作为UⅡ。同理，VⅠ应为16、17、18，34、35、36六槽；VⅡ应为7、8、9，25、26、27六槽。WⅠ应为4、5、6，22、23、24六槽，WⅡ应为13、14、15，31、32、33六槽。

在图8－46(a)中画上与UⅠ、UⅡ、VⅠ、VⅡ、WⅠ、WⅡ所对应的线圈，标上所嵌槽号即成图8－47。图中线圈用符

号■■表示，白色部分引出线为“头”，黑色部分引出线为“尾”。图 8－47 中各线圈之间的连接应以某一极数时为准，按照绕组表上相号正负，对照电流正方向确定。一般规定取电流自线圈头流至尾时为电流的正方向，反之为负。

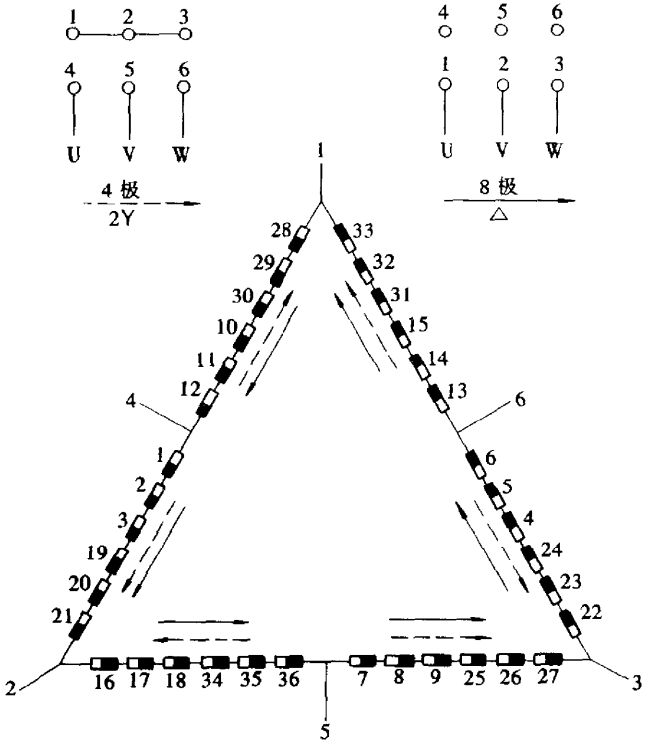


图 8－47　36 槽 4/8 极单绕组变极双速异步电动机的绕组接线图

设以 4 极为准，此时为 2Y 连接，电流正方向如图 8－47 中虚线所示，绕组排列表上 U 相的 1、2、3、19、20、21 六槽在 4 极时为正，因此所嵌的 6 个线圈中的电流应由各线圈的头流至尾。如果相邻的三个线圈连绕，构成一个线圈组（即 1、2、3 三个线圈连绕，19、20、21 三个线圈也连绕），则引出线 4 应接线圈 1 的头，线圈 3 的尾应接线圈 19 的头，线圈 21 的尾即为引出线 2。再看 U 相的另一半线圈即 10、11、12，28、29、30 六槽，4 极时都是负，因此所嵌的 6 个线圈中的电流应由各线圈的尾流

至头。因此，引出线 4 应接至线圈 12 的尾，线圈 10 的头接至线圈 30 的尾，线圈 28 的头即为引出线 1。V、W 两相中各线圈的连接也可按类似方法给出。

为了更清楚地表示出图 8－47 所示的绕组连接，我们再以圆图形式画在图 8－48 中以供比较。该绕组方案两种极数转向相反。控制时应予以注意。

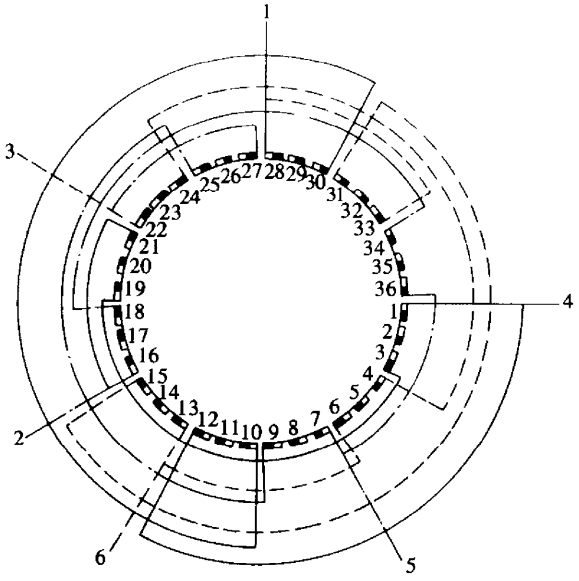


图 8－48　36 槽 4/8 极 2Y/△连接圆图

2. 单绕组变极三速三相异步电动机接线方法

单绕组变极三速三相异步电动机接线方法用得较多的是 2Y/2Y/2Y 和 2△/2△/2Y 连接，引出线 9 根。也有用到 2△/2Y/2Y 连接的，引出线为 12 根。还有其他的接线方法，但引出线较多，应用得较少。

下面举例说明具体接线方法。

一台 36 槽 2/4/8 极单绕组三速异步电动机，接线方式采用 2△/2△/2Y连接。

根据槽电势矢量图，可以列出全部绕组排列表，见表 8－5。

表 8－5　36 槽 2/4/8 极变节距法三速异步电动机绕组排列表

槽　号	①	②	③	4	5	6	⑦	⑧	⑨	10	11	12
2　极	u	u	u	u	u	u	－w	－w	－w	－w	－w	－w
4　极	u	u	u	u	u	u	w	w	w	w	w	w
8　极	u	u	u	－u	－u	－u	w	w	w	－w	－w	w
槽　号	⑬	⑭	⑮	16	17	18	⑲	⑳	㉑	22	23	24
2　极	v	v	v	v	v	v	－u	－u	－u	－u	－u	－u
4　极	v	v	v	v	v	v	u	u	u	u	u	u
8　极	v	v	v	－v	－v	－v	u	u	u	－u	－u	－u
槽　号	㉕	㉖	㉗	28	29	30	㉛	㉜	㉝	34	35	36
2　极	w	w	w	w	w	w	－v	－v	－v	－v	－v	－v
4　极	w	w	w	w	w	w	v	v	v	v	v	v
8　极	w	w	w	－w	－w	－w	v	v	v	－v	－v	－v

注　表中槽号带圈的 $y=12$，不带圈的 $y=6$。

用变节距法获得的不同节距单绕组变极多速三相异步电动机绕组方案，其不同节距只是体现在绕制和嵌放线圈中。线圈中电流的反向情况与反向变极法是一样的，不论由 2 极变 4 极，或由 4 极变 8 极，线圈电流都是一半反向，因而接线方法与反向变极法的接线方法相同。

根据 2△/2△/2Y 连接方式，参考表 8－5 所示绕组排列表，即可画出图 8－49 所示的 36 槽 2/4/8 极单绕组变极三速三相异步电动机的绕组接线图。图 8－49 中各槽号书写次序均以 2 极为准。

为了更清楚地表示出图 8－49 所示的绕组接线，我们再以圆图形式表示，如图 8－50 所示。图 8－50 中槽号带 * 的节距为 12，不带 * 的节距为 6。

36 槽 2/4/8 极单绕组变极三速三相异步电动机，采用 2△/2△/2Y连接时，2 极的绕组接线图如图 8－51 所示；4 极的绕组接线图如图 8－52 所示；8 极的绕组接线图如图 8－53 所示。采

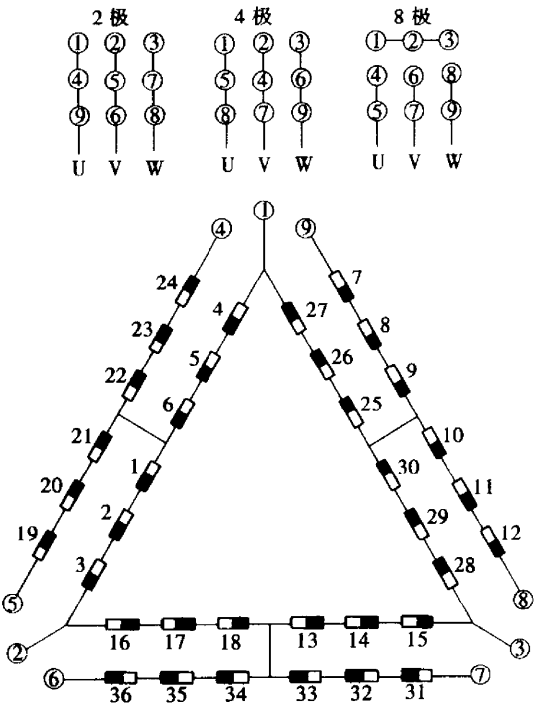


图 8－49　36 槽 2/4/8 极单绕组变极三速异步电动机绕组接线图

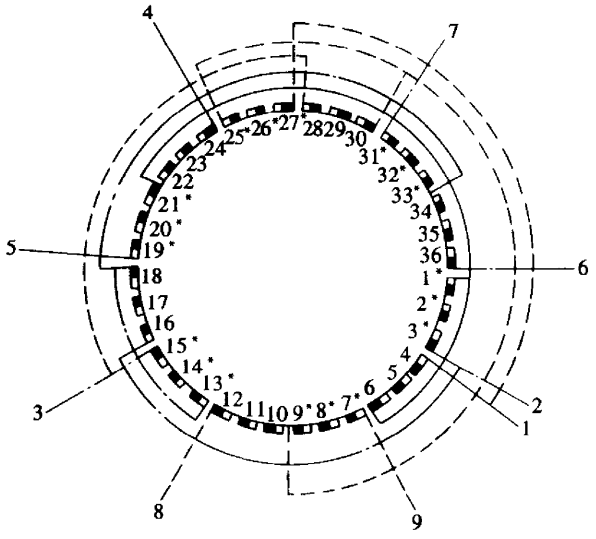


图 8－50　36 槽 2/4/8 极 2△/2△/2Y 连接圆图

用该方案制造的单绕组三速异步电动机，2、8 极转向相同，4 极转向相反，控制时应予以注意。

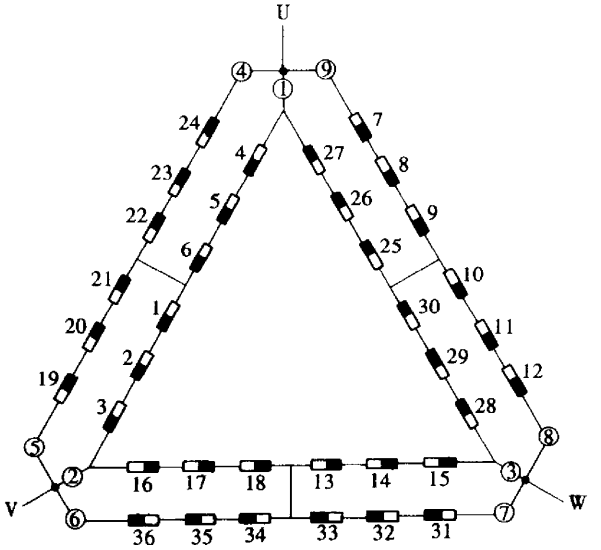


图 8－51　36 槽 2/4/8 极电动机 2 极的绕组接线图

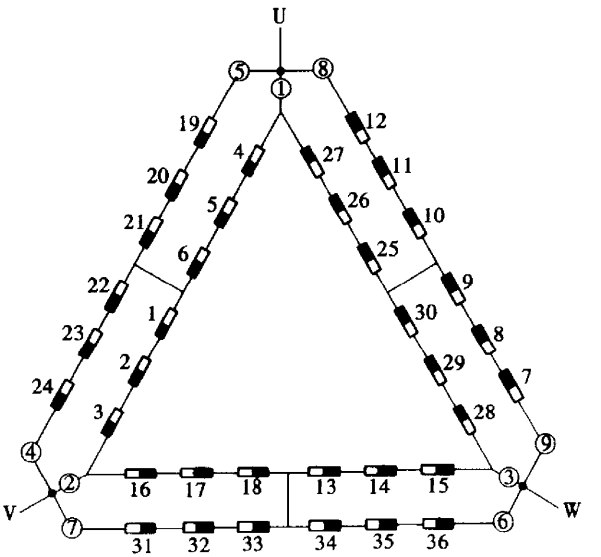


图 8－52　36 槽 2/4/8 极电动机 4 极的绕组接线图

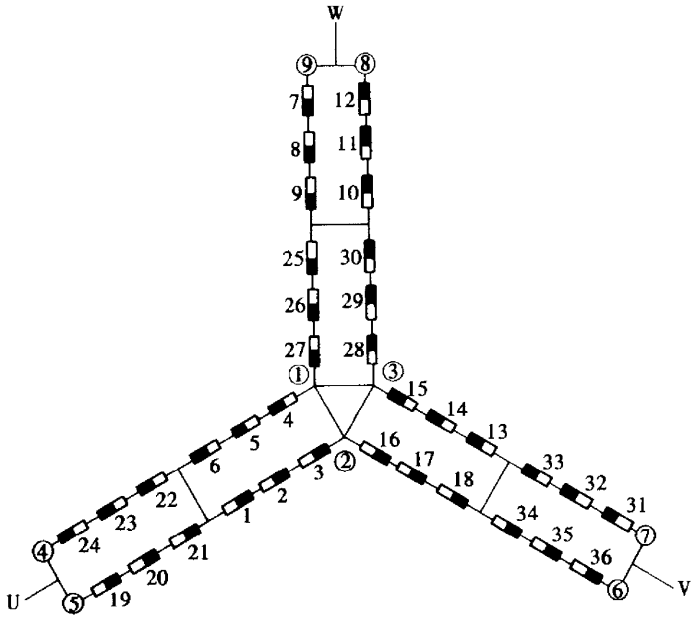
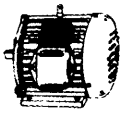


图 8－53　36 槽 2/4/8 极电动机 8 极的绕组接线图

绕组的浸漆与烘干



第1节　绕组浸漆的目的与基本要求

电动机的绝缘材料大部分是由各种纤维制成的，它们的绝缘性能虽然比较好，但纤维会吸附水分，一旦空气中的潮气侵入内部，电动机的绝缘性能将急剧下降。因此电动机定子绕组接线完毕后，必须经浸漆烘干处理，以便提高电机绝缘的耐潮性能，提高绕组的绝缘强度。此外，定子绕组经浸漆烘干处理后，绕组和铁心之间及电磁线与电磁线之间的空隙被绝缘漆填充，绕组与铁心形成一个整体，因此提高了电动机的散热能力，绕组的热量容易散发，起到降低绕组温升的作用，也提高了绕组的机械强度。所以，定子绕组的浸漆处理是电动机修理的一道十分重要的工序。

对绕组浸漆处理的基本要求是烘干、浸透、填满、粘牢，并在绕组外表面形成一层坚韧而富有弹性的漆膜。要满足这些要求，必须选择适当的绝缘漆和浸渍处理工艺。

第2节　浸漆处理常用的绝缘漆

浸漆处理常用的绝缘漆按用途可分为浸渍漆和覆盖漆。

1. 浸渍漆

根据浸漆的目的，对浸渍漆有如下要求：

(1) 具有合适的黏度和较高的固体含量，便于渗入绝缘内层，填充空隙，减少其吸湿性。

（2）漆层固化快，干燥性好和贮存期长。

（3）黏结力强，有热弹性，固化后能经受电动机运转时离心力的作用。

（4）具有良好的电气性能、耐潮性能和耐热性能，且耐油及化学性能稳定。

（5）对电磁线与其他材料的相容好。

浸渍漆又分为有溶剂漆和无溶剂漆两大类。

有溶剂漆由合成树脂或天然树脂与溶剂组成。具有渗透性好，贮存期长和工艺简便等优点。但浸烘周期长，固化慢，溶剂的挥发还造成浪费和污染环境。有溶剂漆现以醇酸类和环氧类漆应用最为普遍。

无溶剂漆由合成树脂、固化剂和活性稀释剂等组成。固化快，黏度随温度变化大，浸透性好，固化过程中挥发物少，绝缘整体性好。因此可提高绕组的导热和耐潮性能，降低材料消耗，缩短浸烘周期，是绝缘处理发展的主要方向。

2. 覆盖漆

覆盖漆有瓷漆和清漆两种。瓷漆含有填料或颜料，清漆不含填料或颜料。覆盖漆用于涂覆经浸渍处理过的绕组端部和绝缘零、部件，在其表面形成连续而厚度均匀的漆膜，作为绝缘保护层，以防止机械损伤和受大气、润滑油、化学药品等侵蚀，提高表面放电电压。

常用绝缘漆品种、特性及用途见表 9－1。

表 9－1　　常用的电动机绝缘漆品种、特性及用途

名　称	型　号	耐热等级	特性及用途
油改性醇酸漆	1030	B	耐油性和弹性好，供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇酸漆	1031	B	耐潮性、内干性较好，机械强度较高，供浸渍线圈，可用于湿热地区
三聚氰胺醇酸漆	1032	B	耐潮性、耐油性、内干性较好，机械强度较高。且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈

续表

名　称	型　号	耐热等级	特性及用途
环氯酯漆	1033	B	耐潮性、耐油性、内干性较好，机械强度较高。且耐电弧，供浸渍在湿热地区使用的线圈
环氧醇酸漆	H30－6	B	耐热性、耐潮性较好，机械强度高，黏结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧无溶剂漆	110	B	黏度低、击穿强度高、贮存稳定性好。可用于沉浸小型低压电动机、电器线圈
环氧无溶剂漆	111	B	黏度低、固化快、击穿强度高。可用于滴浸小型低压电动机、电器线圈
环氧无溶剂漆	9101	B	黏度低、固化较快、体积电阻高、贮存稳定性好。可用于浸渍中型高压电动机、电器线圈
聚酯浸渍漆	Z30－2	F	耐热性、电气性能较好，黏结力强。供浸渍F级电动机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆	319－2	F	黏度较低、电气性能较好、贮存稳定性好。可用于浸渍小型F级电动机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053	H	耐热性和电气性能好，但烘干温度较高。供浸渍H级电动机、电器线圈和绝缘零部件
聚酯改性有机硅漆	W30－P	H	黏结力较强、耐潮性及电气性能好，烘干温度较1053低，用途同1053漆
聚酰胺酰亚胺浸渍漆	PAI－2	H	耐热性优于有机硅漆、电气性能优良、黏结力强。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电动机、电器线圈
晾干醇酸灰瓷漆	1321	B	晾干或低温干燥，漆膜硬度较高、耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰
醇酸灰瓷漆	1320	B	烘焙干燥，漆膜坚硬，机械强度高，耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈

续表

名　称	型　号	耐热等级	特性及用途
环氧脂灰瓷漆	163	B	烘焙干燥，漆膜硬度大、耐潮、耐毒、耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈，可用于湿热地区
晾干环氧脂灰瓷漆	164	B	晾干或低温干燥，漆膜坚硬，耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰，可用于湿热地区
晾干有机硅红瓷漆	167	H	晾干或低温干燥，漆膜耐热性高，电气性能好。用于覆盖耐高温电动机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红瓷漆	1350	H	烘焙干燥，漆膜耐热性、电气性能比167好，且硬度大、耐油。用途同167漆
油性硅钢片漆	1611	A	在高温（400～500℃）下干燥快，漆膜厚度均匀，坚硬，耐油。供涂覆一般小型电动机、电器用硅钢片
醇酸硅钢片漆	9161	B	在300～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性和耐电弧性。供涂覆一般电动机、电器用硅钢片，但不宜涂覆经磷酸盐处理的硅钢片
环氧酚醛硅钢片漆	114	F	附着力强，在200～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能。供涂覆大型电动机、电器用硅钢片，且适宜涂覆经磷酸盐处理的硅钢片和其他硅钢片
有机硅钢片漆	W35－1	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂覆高温电动机、电器用硅钢片，但不宜涂覆经磷酸盐处理的硅钢片
聚酰胺酰亚胺硅钢片漆	PAI－Q	H	漆的涂覆工艺性和干燥性好，漆膜附着加强、耐热性高、耐溶剂性优越。供涂覆高温电动机、电器用的各种硅钢片

第3节　浸漆处理工艺

目前E级及B级绝缘的电机浸漆时，普遍采用1032三聚氰胺醇酸浸渍漆。浸漆处理时，一般分预烘、浸漆、烘干（干燥）三个主要环节。

一、预烘

预烘的目的是去除绕组中所含的潮气和挥发物，以提高绕组浸漆的质量；此外，提高电机绕组浸漆时的温度，当绕组与绝缘漆接触时，绝缘漆黏度降低，可以很快地浸透到绕组里。

预烘的工艺参数是温度和时间，为了缩短去潮的时间，预烘温度可稍高些；但温度过高会影响绝缘材料的寿命。根据绝缘的耐热等级的不同，预烘温度一般可按表9-2选取。

表9-2　　预烘温度

绝缘耐热等级	耐热极限温度（℃）	正常压力下预烘温度（℃）	真空情况下预烘温度（℃）	正常压力下最高预烘温度（℃）
A	105	105~115	80~110	125
E	120	115~125	80~110	140
B	130	130~140	80~110	150
F	155	150~165	80~110	175
H	180	170~190	80~110	200

预烘时间一般都是根据实验确定的。绕组开始加热后，每隔0.5h或1h，用兆欧表测量一次绕组对地的绝缘电阻，记录所测结果，并同时记录烘箱（房）温度，直到绝缘电阻稳定（连续3h以上，其绝缘电阻的变化小于10%），并不少于浸漆预烘规范中规定的时间为止。根据记录下来的数据可绘制出烘箱温度与时间的关系曲线（见图9-1中曲线1）和绝缘电阻与时间的关系曲线（见图9-1中曲线2）。

从曲线2可以看出，a至b段绝缘电阻逐渐下降，原因是随着温度逐渐升高，绕组内部水分不断蒸发，而导致绝缘电阻开始下降。直到炉温稳定以后，绝缘电阻变化趋向最低值，即bc段。

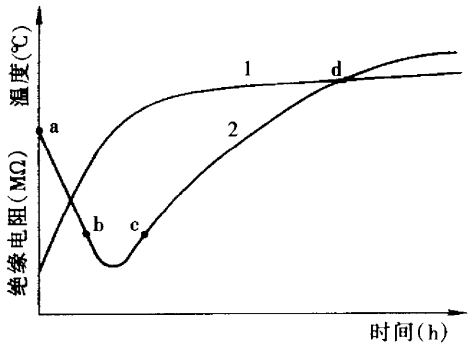


图 9－1　烘干室温度及绝缘电阻变化曲线

1—温度变化曲线；2—绝缘电阻变化曲线

再经过一定时间后，潮气不断减少，绝缘电阻又逐渐上升，如cd段。最后绝缘电阻趋于稳定，说明绕组内部已经干燥。一般容量较小的电机约需预烘 4～6h，容量较大的电机约需预烘 5～8h。

预烘时，还须注意以下几点：

(1) 绕组须清洁，不准用木块作垫块，以免碳化引起火灾事故。

(2) 预烘温度要逐步增加。一般升温速度应不大于 30℃/h。加热太快，内外层温差大，使潮气由外层向内部扩散，会影响干燥效果。

(3) 在预热升温期间，应使新鲜空气不断与烘箱内空气交换，以加速潮气的蒸发，当大部分潮气已经去除以后，应有少量换气而保持箱内温度，以求烘焙速度较快，节省时间。

(4) 采用热风循环干燥，箱内温度比较均匀，有利于水分蒸发。

二、浸漆

电动机修理常用的浸漆方法有以下几种：

(1) 沉浸法。适于批量修理的单位，即将定子或转子全部沉没于绝缘漆中，使绝缘漆充分渗透到各间隙中。

（2）浇漆法。适用于单台或绕组局部修理的电动机。将定子与沿垂线略成一个角度直立于一个接漆盘内，用油壶等直接往上面的绕组端部浇漆，待绕组缝隙灌满漆液并开始从下端浸出时，将定子翻转过来，并从这一端再浇一遍，直至浇透为止。此法较为方便、经济。

（3）刷漆法。适用于绕组局部换线处理的电动机，操作方法与浇漆法基本相同，用刷子等直接往绕组端部刷漆。此法简单省料。

（4）滚漆法。适用于容量较大的绕线转子中。将绝缘漆倒入漆槽中，漆面高于绕组 100mm 左右，然后将转子平放在漆槽中并滚动，直至浸透为止。

下面以沉浸法为例介绍浸漆的操作方法及注意事项。

沉浸法是将绕组预烘后浸入绝缘漆中，使漆渗透到绕组绝缘内部，填充所有空隙。浸渍质量决定于绕组的温度、绝缘漆的黏度和浸渍时间等因素。

浸漆次数应根据绕组的要求和选用的浸渍漆而定。在正常湿度下（相对湿度不大于 70%）工作的电动机，采用有溶剂漆时，一般应浸 2 次；采用无溶剂漆只需浸 1 次。在高湿度下（相对湿度为 80% ~ 95%）工作的湿热带电动机，采用有溶剂漆时，一般应浸 3 次，采用无溶剂漆只需浸 2 次。在很潮湿（相对湿度大于 95%）或盐雾或化学气体影响下工作的电动机，还需适当增加浸漆次数。

采用热沉浸工艺时，经过预烘后，待绕组和铁心温度降到 60 ~ 80℃时，才能浸漆。若温度过高，将促使溶剂大量挥发，造成材料消耗。另一方面，绝缘漆将在较热的绕组表面迅速结成漆膜，堵塞绝缘漆继续浸入的通道，以致造成浸不透的恶果。反之，如果温度过低，则绕组又吸入潮气，失去预烘的作用，而且与绕组接触的绝缘漆的温度将会降低，使漆的黏度增大，流动性和渗透性较差，也会使浸漆效果不好。所以，浸漆时绕组和铁心的温度应控制在 60 ~ 80℃为宜。

被浸渍的绕组至少应浸入漆面 100～200mm，浸到无气泡冒出，并不少于规定的时间。但浸泡时间也不宜过长，否则反会泡坏电磁线漆膜，特别是 QQ 型漆包线不宜浸泡过久。

多次浸漆的作用是：第一次把漆浸透，并填满绝缘层的微孔和间隙；第二次是要把绝缘层和电磁线粘牢，并填充第一次浸漆烘干时溶剂挥发后造成的微孔，并在表面形成一层光滑的漆膜，以防止潮气的侵入；第三次及以上是要在绝缘表面形成加强的保护外层。

漆的渗透能力，主要决定于漆的黏度；漆的填充能力，主要取决于漆的固体含量的多少。因此，第一次浸漆时，漆的黏度不宜过高，否则难以浸透，并易形成漆膜，将潮气封闭在里面，影响第二次、第三次浸漆的作用。第一次浸渍的时间亦应稍长些，使漆充分浸透。以后的几次最好适当增加漆的黏度和固体含量，时间则应稍短些。这样一方面可使漆充分填满孔隙，另一方面又不致破坏前一次浸漆的效果。

多次浸漆所用的有溶剂漆的黏度和浸渍时间可参考表 9－3。

表 9－3　　多次浸渍所用的有溶剂漆的粘度和浸渍时间

浸　渍　次　数	第一次	第二次	第三次	第四次
漆的黏度（s）（20℃，4 号黏度计）	18～22	28～32	35～38	40～60
浸渍时间（min）	>15	10～15	5～10	5～10

漆的黏度是用福特杯 4 号黏度计（简称 4 号福特杯）来测量的。福特杯 4 号黏度计是一个容积为 100cm^3 的铜杯（黄铜或紫铜），结构如图 9－2 所示。该杯流出口须严格控制在公差范围内，否则所测得的黏度误差会很大。使用时将福特杯全部沉入漆内，大杯口朝上，垂直方向取出，当漆面达到杯口表面时，按下秒表开始计时，一直到杯内所有的漆液流完，记下时间和温度。此时所得的秒数，即为在当时漆温下漆的黏度。时间愈长，黏度愈大；时间愈短，黏度愈小。

福特杯使用后，必须用溶剂清洗，注意保存，尤其要注意流

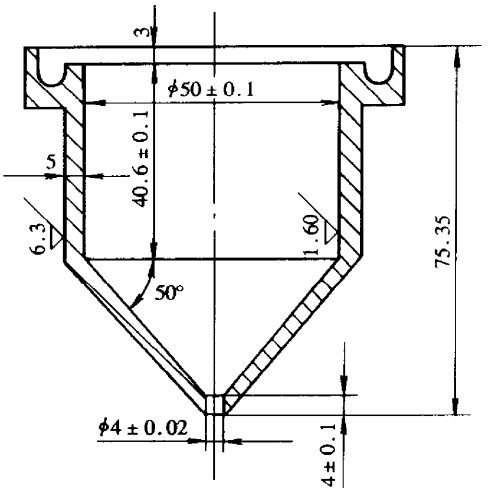


图 9－2　福特杯 4 号黏度计

出孔勿被阻塞或损伤。标准福特杯 4 号黏度计，在 20℃时，蒸馏水的黏度是 11.5s，可根据这一标准校验。

由于漆温对黏度影响很大，所以，一般规定以 20℃为基准，考虑到测量时漆温不可能恒定在 20℃，因此在其他温度下测量时，必须加以换算，当采用普通的二次浸漆工艺时，可按表 9－4 换算。

表 9－4　　二次浸漆工艺 1032 绝缘漆黏度—温度对照表

温度	时间（s）		温度	时间（s）		温度	时间（s）	
（℃）	一次浸漆	二次浸漆	（℃）	一次浸漆	二次浸漆	（℃）	一次浸漆	二次浸漆
40	16	19.5	26	18.2	27	12	25.5	40
39	16	20	25	18.4	27.5	11	26	42
38	16	20.4	24	18.7	28	10	27	43.5
37	16	20.8	23	19	28.5	9	28	45.5
36	16.2	21	22	19.4	29	8	28.5	47
35	16.2	21.5	21	19.8	29.5	7	30	50.5
34	16.5	22	20	20	30	6	32	52
33	17	22.5	19	21	32.5	5	33	53.5
32	17.2	23	18	21.5	34	4	33.5	55
31	17.4	23.5	17	22	35	3	34.5	58
30	17.6	24	16	22.5	35.5	2	35	60.5
29	17.8	24.8	15	24	36.5	1	36	62
28	18	25.5	14	24.5	37.5			
27	18	26	13	25	39.5			

如果漆的黏度太大或太小，应加入稀释剂或新漆，并充分搅拌均匀。

每次浸漆完成后，都要把定子绕组垂直放置，滴干余漆，时间一般约 30～60min。直至没有漆流出为止，并用溶剂将其他部位的余漆擦净。没有很好滴干的绕组，会延长烘干时间。对于绕线式转子绕组，为了避免漆在绕组内凝聚成块，在运行时受热甩出，造成事故，每次浸漆滴干后，还应进行甩漆，甩漆条件可参考表 9－5。

表 9－5　　甩　漆　条　件

转子或直流电枢	甩漆转速（r/min）	甩漆时间（min）
直径＜400mm	600	5
直径＞400mm	300	5
3000r/min 高速转子	300	10

采用无溶剂漆沉浸工艺时，无溶剂漆浸渍工艺参数一般可参考表 9－6。

表 9－6　　B、F 级无溶剂漆沉浸工艺

序号	工序名称		B 级 5152 无溶剂漆			F 级 319－2 无溶剂漆		
			温度（℃）	时间（h）	热态绝缘电阻（MΩ）	温度（℃）	时间（h）	热态绝缘电阻（MΩ）
1	预　烘		130	6	＞20	130	6	＞50
2	第一次浸漆	浸漆	50～60	0.5	—	50～60	0.5	—
		滴干	室温	＞1	—	室温	＞1	—
		干燥	140	10	＞8	150	6	＞10
3	第二次浸漆	浸漆	50～60	3min	—	50～60	3min	—
		滴干	室温	0.5	—	室温	0.5	—
		干燥	140	12	＞2	150	10	＞5

采用无溶剂漆沉浸工艺要特别注意漆的保管和使用要求。为了延长漆的使用期，宜采用低温（5～10℃）贮存。无溶剂漆中

一般含有毒性较重的物质（如苯乙烯），须注意劳动保护措施。

目前国内电机厂生产的低压电动机以B级绝缘为主，一般采用二次浸漆。所浸的漆是1032三聚氰胺醇酸漆，溶剂为二甲苯或甲苯，采用的工艺是热沉浸工艺，烘干次数为二次。普通二次浸漆的工艺参数见表9－7。

表9－7　普通二次浸漆的工艺参数（B级绝缘、浸1032漆）

序号	工序名称	处理温度（℃）	电动机中心高（mm）	处理时间	绝缘电阻稳定值（MΩ）
1	白坯预烘	120 ± 5	80 ~ 160	5 ~ 7h	> 50
			180 ~ 280	9 ~ 11h	> 15
2	第一次浸漆	60 ~ 80	—	> 15min	—
3	滴　　漆	20	—	> 30min	—
4	第一次烘干	130 ± 5	80 ~ 160	6 ~ 8h	> 10
			180 ~ 280	14 ~ 16h	> 2
5	第二次浸漆	60 ~ 80	—	10 ~ 15min	—
6	滴　　漆	20	—	> 30min	—
7	第二次烘干	130 ± 5	80 ~ 160	8 ~ 10h	> 1.5
			180 ~ 280	16 ~ 18h	> 1.5

三、烘干

浸漆后的烘干比预烘更为复杂，因为此时不仅有物理过程（溶剂的挥发）；而且还有化学过程（漆基中树脂和干性油的氧化和聚合过程）。

余漆滴干后，还应仔细清除铁心表面的余漆。既可以避免把易燃的漆液带进烘箱，引起火灾或爆炸。又可以减少以后刮漆的工作量。

烘干的目的是将漆中的溶剂和水分挥发掉，使绕组表面形成较坚固的漆膜。烘干过程最好分两个阶段进行。

第一阶段是低温阶段，温度控制在70 ~ 80℃，约烘2 ~ 4h，如果这时温度太高，会使溶剂挥发太快，在绕组表面形成许多小

孔，影响浸漆质量；同时过高的温度将使绕组表面的漆很快结膜，渗入内部的溶剂受热后产生的气体无法排出，也会影响浸漆质量。

第二阶段是高温阶段，主要是漆基的聚合固化，并在绕组表面形成坚硬的漆膜。为此，烘干温度一般比预烘温度高10℃左右。升温速度应视浸渍漆而定，一般约为20℃/h。此时还需要不断补充新鲜空气，高温和换气能加速氧化和聚合的过程，使烘焙的时间缩短，并提高漆膜的强度。低温缺氧的烘焙即使延长时间，也不能获得高质量的漆膜。烘焙过程中，每隔1h就要用兆欧表测量一次绕组对地的绝缘电阻，烘焙时间一般以绝缘电阻连续3h达到持续稳定值为止。且绝缘电阻一般要在5MΩ以上，绕组才算烘干。在实际操作中，由于烘干设备和方法不同，烘焙的温度和时间都会有所差异，需按具体情况而定，总之应使绕组对地绝缘电阻稳定而且合格为准。

多次浸渍时，前几次烘焙时间应短一些，使漆膜还保持有黏性，以便与后几次浸漆所形成的漆膜能很好地粘合在一起，不致分层。最后一次烘干时间应长一些，以使漆膜硬结完好。

对于绕线式转子绕组，烘干时间应更长一些，以免因硬结不良，运行时受热发生甩漆现象。在烘干时，应将转子立放，以免漆流结在一边而影响平衡。如因设备条件限制，只能平放烘干，则在烘干第一阶段应定期转动180°，以防止漆流结在一边。

修理电动机时，可采用简易的方法烘干。常用的烘干方法有以下几种。

1. 外部干燥法

(1) 烘房（烘箱）干燥法。烘房通常用耐火砖砌成（烘箱可用铁板焊合），如图9-3所示。将发热元件（一般用电热丝）装在靠近烘房两面侧壁，发热元件外面用铁皮罩住。通电过程中，必须用温度计监视烘房的温度，不能超过所规定的允许值。烘房（烘箱）顶盖上应留有排出潮气和熔剂蒸气的通气孔。

(2) 灯泡干燥法。灯泡干燥法如图9-4所示。用红外线灯

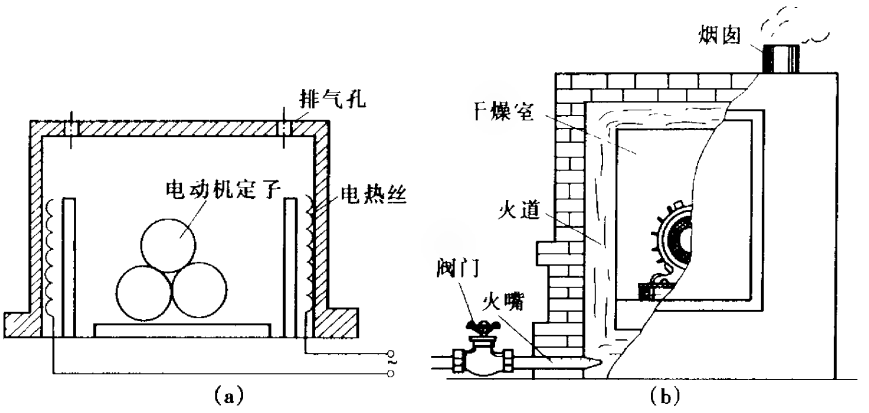


图 9-3 烘房

(a) 电热丝加热式；(b) 用天然气加热的火墙式

泡或一般灯泡使灯光直接照射到电动机绕组上，但也不可太近，以防止烤焦绕组。灯泡的功率一般可按 5kW/m^3 左右考虑。烘烤时要注意用温度计监视箱内温度，不得超过允许值。

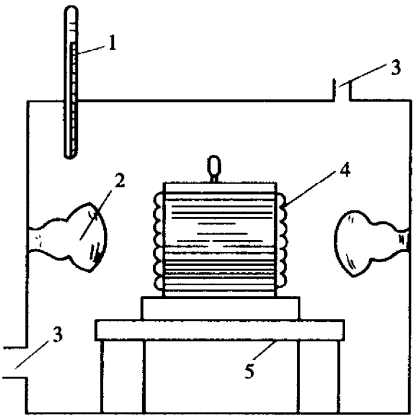


图 9-4 灯泡干燥法

1—温度计；2—灯泡；3—出气口；4—电动机定子；5—支架

2. 内部干燥法

(1) 电流干燥法。电流干燥法是将电动机绕组以一定的接法通入低压电流，利用电动机绕组的铜损耗来加热。电流干燥法的

接线有很多形式，但是无论采用哪种形式，其每相绕组中通过的最大电流都不宜超过电动机绕组电流的额定值的 50% ~ 60%。若用直流电源则可稍高，不宜超过额定值的 60% ~ 80%。由于各种电机的具体情况不尽相同，一般干燥电流的大小，应使定子铁心在通电 3 ~ 4h 内达到 70 ~ 80℃为宜。

干燥用电源一般采用交流弧焊变压器或直流弧焊机，以及其他可调节的低压电源。

(2) 涡流干燥法。涡流干燥法是利用交变磁通在定子铁心中产生磁滞和涡流损耗使电动机发热到所需的温度进行干燥的，所以又称为铁损耗干燥法。铁心里的磁通是由临时穿绕在定子铁心和外壳上的励磁线圈产生的（见图 9 - 5）。此法适宜干燥容量较大的电动机，优点是耗电量较小，比较经济。励磁线圈参数需通过计算或试验确定。

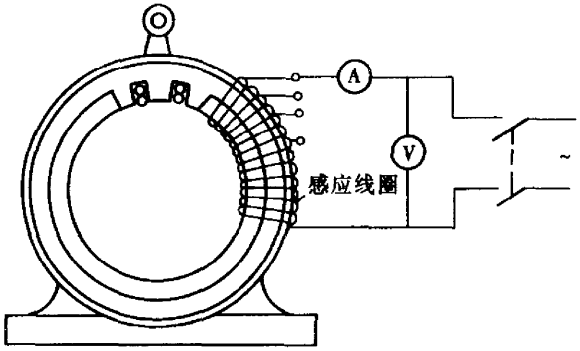
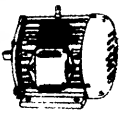


图 9 - 5　涡流干燥示意图

10 电动机的检查与试验



第1节 电机检测常用仪表及器具

一、试电笔

1. 试电笔的结构与工作原理

试电笔又称检电笔或测电笔，简称电笔，是用来检查低压导体和电气设备外壳是否带电的辅助安全用具，其检测电压范围为60～500V（指带电体与大地的电位差）。为了便于使用和携带，试电笔常做成钢笔式结构或旋凿式结构，如图10－1所示。试电笔的前端是金属探头、内部依次装接氖泡（氖管）、安全电阻和弹簧。弹簧与后端外部的金属部分相接触。使用时手应触及金属部分。

当用试电笔测试带电体时，带电体经试电笔、人体到大地形成了通电回路，只要带电体与大地之间的电位差超过一定的数值，试电笔中的氖泡就能发出红色的辉光。

2. 使用注意事项

（1）使用时一定要用手指或手掌压在试电笔的后端外部的金属部分（如铜笔夹或铜铆钉）上，否则即使有电，氖泡也不亮。

（2）使用试电笔前，一定要在有电的电源上检查氖泡能否正常发光。以验证试电笔是否完好。

（3）在明亮的光线下测试时，往往不易看清氖泡的辉光，应当避光检测。

（4）试电笔的金属探头多制成螺丝刀形状，它只能承受很小的扭矩，使用时应特别注意，以防损坏。

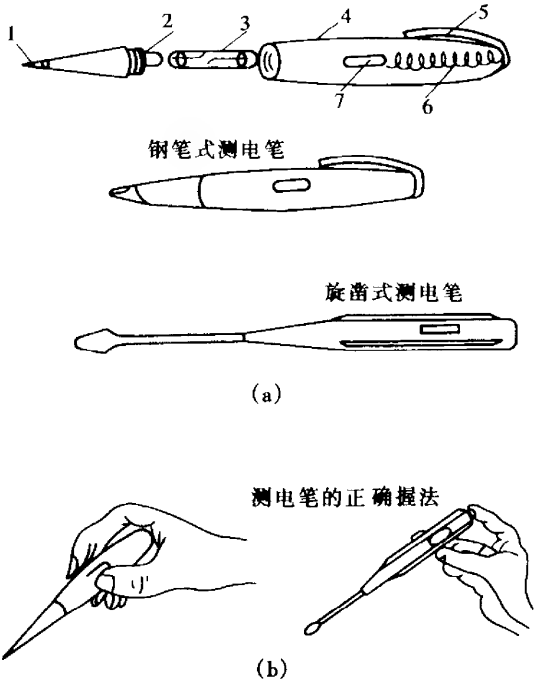


图 10－1　试电笔结构及使用方法

(a) 试电笔结构；(b) 试电笔的正确握法

1—笔尖的金属体；2—电阻；3—氖泡；4—笔身；

5—笔尾的金属体；6—弹簧；7—小窗

二、电流表和电压表

电流表和电压表是用来测量电流和电压的电工仪表。常用的电流表和电压表有磁电系、电磁系、电动系等类型。

磁电系仪表的优点是标度均匀、灵敏度和准确度较高，读数受外界磁场影响小。其缺点是只能用来测量直流电流和直流电压，而且过载能力差。

电磁系仪表的优点是过载能力强，可直接测量大电流，适用于交、直流测量。其缺点是标度不均匀，准确度较差，读数易受外界磁场影响。

电动系仪表的优点是灵敏度和准确度较其他交流仪表高，可

用于交、直流测量，还可用于非正弦量电流、电压有效值的测量。其缺点是标度不均匀，过载能力较差，读数易受外界磁场影响。

1. 电流的测量

测量直流电流时，电流表的接法如图 10－2 所示；测量交流电流时，电流表的接法如图 10－3 所示。

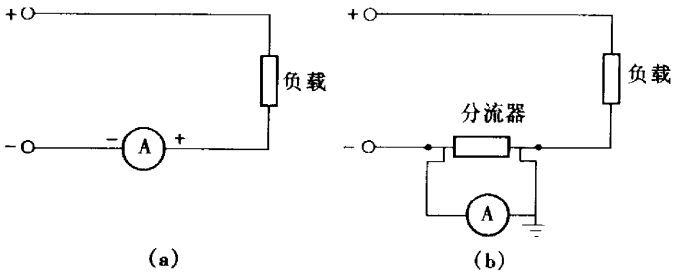


图 10－2　直流电流的测量

(a) 电流表直接接入法；(b) 带有分流器的电流表接入法

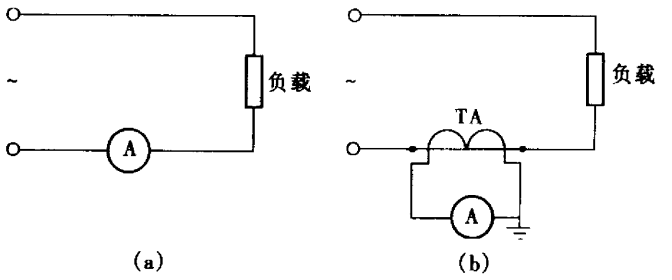


图 10－3　交流电流的测量

(a) 电流表直接接入法；(b) 带有电流互感器的电流表接入法

2. 电压的测量

测量直流电压时，电压表的接法如图 10－4 所示；测量交流电压时，电压表的接法如图 10－5 所示。

3. 电流表和电压表使用注意事项

(1) 在搬运和拆装电表过程中应小心，轻拿轻放，不能受到强烈的振动和撞击，以防损坏电表的零部件，特别是电表的轴承

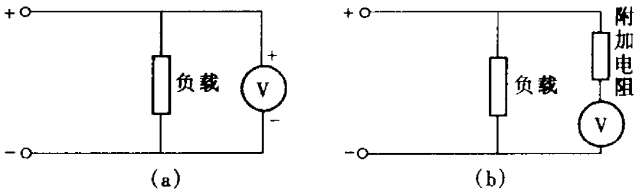


图 10－4　直流电压的测量

(a) 电压表直接接入法；(b) 带有附加电阻的电压表接入法

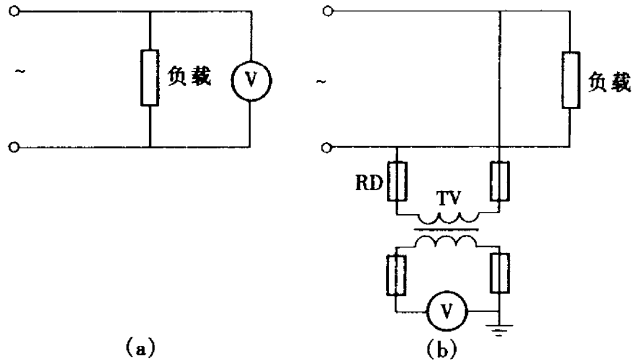


图 10－5　交流电压的测量

(a) 电压表直接接入法；(b) 带有电压互感器的电压表接入法

和游丝。

(2) 安装或拆卸电表时，应先切断电源，以免发生人身事故或损坏测量机构。

(3) 安装电表的地方应清洁、干燥、无振动，附近无强磁场(如电动机、电力变压器等)存在。不能将电表装在高温的场合。

(4) 根据规定安装电表的工作位置（垂直、水平或倾斜)。安装时须平正，位置不宜过高或过低，表面应便于读数。

(5) 电表接入电路之前，应先估计电路中要测量的电流、电压等是否在电表最大的量程内，以免电表过载，超过最大量程而将指针打弯或烧毁电表线圈。电表的最大量程为被测量数值的1.5～2倍为宜。

(6) 测量电流时，电流表应与被测电路串联；测量电压时，

电压表应与被测电路并联。测量直流电流或直流电压时，应特别注意电表的“+”极接线端钮与电源“+”极相连接，电表的“-”极接线端钮与电源“-”极相连接。测量交流电流或交流电压时，无须注意极性。

(7) 电表的引线必须适当，要能负担测量时的负荷而不致过热，并且不致产生很大的电压降而影响电表的读数。如电表带有专用导线时，在使用时应与专用导线连接。连接的部分要干净、牢靠，以免接触不良而影响测量效果。电表接线柱上的螺母容易松动，应经常拧紧，防止脱落。

(8) 电表的指针须经常注意作零位调整。平常指针应指在起始的位置（零点上），如略有差距，可旋动电表上的零位校正螺钉，使指针恢复到零点的位置。

(9) 电表应定期用干软布擦拭，保持清洁。

三、钳形表

钳形表又称卡表，是一种在不断开电路的情况下，可以随时测量电路中电流的携带式电工仪表。有的钳形表还带有测电杆，可用来测量电压。

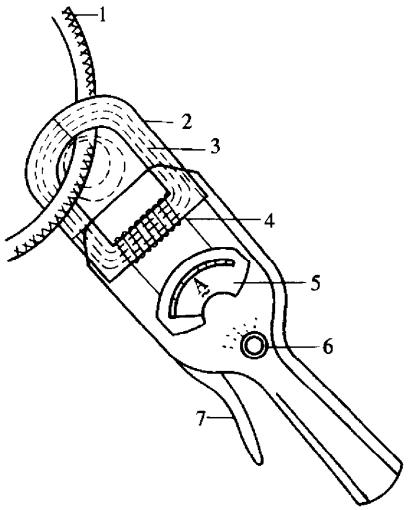


图 10-6 钳形表的结构

1—载流导线；2—铁心；3—磁通；4—线圈；5—表头；6—改变量程的旋钮；7—扳手

1. 钳形表的结构和工作原理

常用钳形表的结构如图 10-6 所示。

测量交流电流的钳形表是由“穿心式”电流互感器和电流表组成。被测导线相当于电流互感器的一次线圈，绕在钳形表铁心上的线圈相当于电流互感器的二次线圈。当被测载流导线卡入钳口时，二次线圈便感应出电流，使指针偏转，指示出

被测电流值。

2. 钳形表使用注意事项

(1) 测量前，应检查仪表指针是否在零位，若不在零位，应调至零位。

(2) 测量时，应将转换开关置于合适量程，对被测量大小心中无数时，应将转换开关置于最高档，然后根据测量值的大小，变换到合适量程。应注意不要在测量过程中切换量程。

(3) 进行测量时，被测导线应置于钳口的中心位置，以减少测量误差。钳口两个面应接合良好，如有噪声，可将钳口重新开合一次。钳口若有污垢，可用汽油擦净。

(4) 被测量的电流较小时，为获得准确的读数，可将导线多绕几圈放进钳口进行测量，但实际的电流值为读数除以放进钳口内的导线根数。

(5) 不可用钳形电流表测量高压电路中的电流，以免发生事故。

(6) 钳形表不用时，应将量程旋钮置于最高档，以免下次误用而损坏仪表。

四、兆欧表

兆欧表俗称摇表，它是专供用来检测电气设备、供电线路绝缘电阻的一种可携式仪表。兆欧表标度尺上的单位是兆欧，用MΩ表示（$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6\Omega$）。

1. 兆欧表的选择

(1) 电压等级的选择。对于额定电压在500V以下的电气设备，应选用500V的兆欧表；对于额定电压在500V以上的电气设备，应选用1000～2500V的兆欧表。

(2) 测量范围的选择。应注意不要使兆欧表的测量范围过多地超出所需测量的绝缘电阻值，以减少误差的产生。对于刻度不是从零开始的兆欧表（例如从1MΩ或2MΩ开始的兆欧表）一般不宜用来测量低压电气设备的绝缘电阻。因为这种电气设备的绝缘电阻值较小，有可能小于1MΩ，在仪表上得不到读数，容易

误认为绝缘电阻值为零而得出错误的结论。

2. 测量绝缘电阻的接线

兆欧表上有三个分别标有接地“E”、线路“L”和屏蔽（或保护环）“G”的端钮。测量电路的绝缘电阻时，将被测端接于L端钮上，而以良好的接地线接入E端钮上，如图10－7（a）所示；测量电动机绝缘电阻时，将电动机绕组接于L端钮上，机壳接于E端钮上，如图10－7（b）所示；测量电缆的导电线芯（缆芯）与电缆外壳的绝缘电阻时，除将缆芯和缆壳分别接于L和E端钮外，还需将缆芯与缆壳之间的绝缘物接于G端钮上，以消除因表面漏电而引起的误差，如图10－7（c）所示。

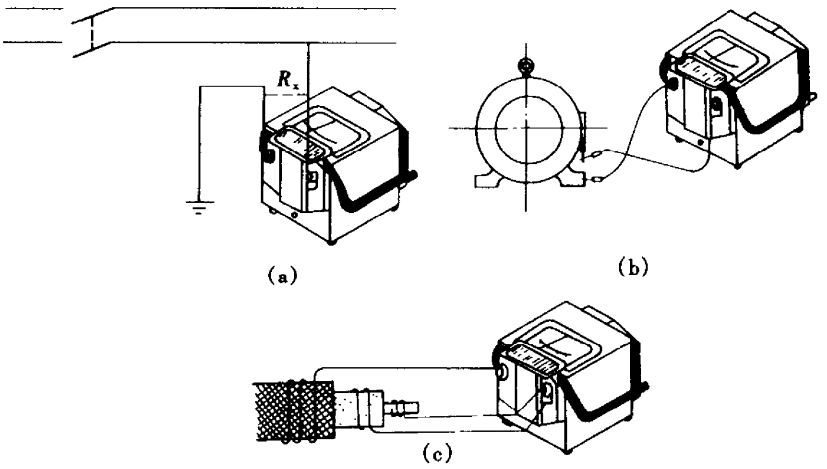


图10－7　用兆欧表测量绝缘电阻的正确接法

（a）测量电路的绝缘电阻；（b）测量电机的绝缘电阻；

（c）测量电缆的绝缘电阻

3. 兆欧表使用注意事项

（1）测量前，应切断被测设备的电源，并对被测设备进行充分的放电，保证被测设备不带电。用兆欧表测试过的电气设备，也要及时放电，以确保安全。

（2）兆欧表与被测设备之间的连接线应用单根绝缘导线分开连接，两根连接线不可缠绞在一起，也不可与被测设备或地面接

触，以避免导线绝缘不良而引起的误差。

（3）被测对象的表面应清洁、干燥，以减小测量误差。

（4）测量前，应先对兆欧表进行一次开路和短路试验，检查兆欧表是否良好。将两端钮开线路时、摇动手柄，指针应指“∞”位置（有的兆欧表上有“∞”调节器，可调节指针在“∞”位置）；然后将两端钮短接，缓慢摇动手柄，指针应指在“0”处，否则说明兆欧表有故障，需要检修。另外，使用前兆欧表指针可停留在任意位置，这不影响最后的测量结果。

（5）测量时，摇动手柄的速度应由慢逐渐加快，并保持在120r/min左右的转速，测量时间长达1min以后，这时读数才是准确的结果。如果被测设备短路，指针指零，应立即停止摇动手柄，以防表内线圈发热损坏仪表。

（6）测量大电容的电气设备的绝缘电阻（电容器、电缆等）时，在测定绝缘电阻后，应先将L端钮的连接线断开，再降速松开手柄，以免被测设备向仪表倒充电而损坏仪表。

（7）禁止在有雷电时或邻近高压设备时使用兆欧表，以免发生危险。

（8）测量完毕后，在手柄未完全停止转动和被测对象没有放电之前，切不可用手触及被测对象的测量部分和进行拆线，以免触电。

五、万用表

万用表（又称多用表）是一种多量限、多用途的电工仪表。一般的万用表可测量电阻、直流电流、直流电压、交流电压等，有些万用表还可测量交流电流、功率、电感、电容和音频电平等。因为它能测量多种多样的电工量，所以称为万用表。

万用表主要由高灵敏度磁电系测量机构、转换开关、整流器、电池以及电阻元件等组成。其外形结构和简化原理线路如图10－8和图10－9所示。通过改变转换开关的位置，可以构成不同的测量线路，从而可以实现测量多种电气参量的目的。

万用表的使用方法及注意事项如下：

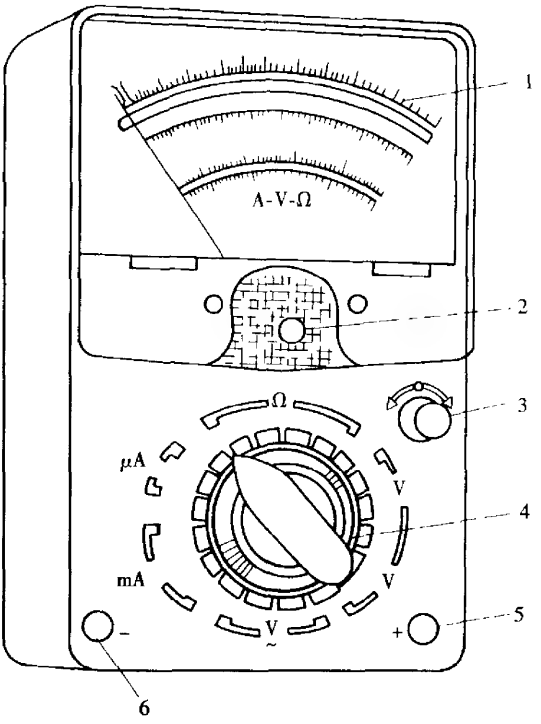


图 10－8　万用表的外形结构

1—刻度盘；2—指针调零器；3—电阻调零器；4—转换开关；5—测试棒插孔（+）；6—测试棒插孔（-）

（1）使用前应检查指针是否在零位，若不在零位，应先调节指针调零器。

（2）根据被测量性质的不同，将转换开关转至相应的位置。特别要注意测量电压时，不得将转换开关置于电流或电阻档，否则会烧坏万用表。有的万用表面板上有两个转换开关，一个选择测量种类，另一个选择测量量程，使用时，应先选择测量种类，然后选择测量量程。

（3）测量直流电流或直流电压时，应将红表棒插在红色或有“+”符号的插孔内，另一端接被测对象的正极；将黑表棒插在黑色或有“-”符号的插孔内，另一端接被测对象的负极。

（4）测量电流时，应将万用表串联在被测电路中；测量电压时，应将万用表并联在被测电路中。

（5）测量电压、电流时，最好使指针在量程的 1/2 到 2/3 的范围内，读数较为准确。若预先不知被测量的大小，为避免量程选得过小而损坏万用表，应先选择该种类最大量程预测，然后再选择合适的量程，以减小测量误差。

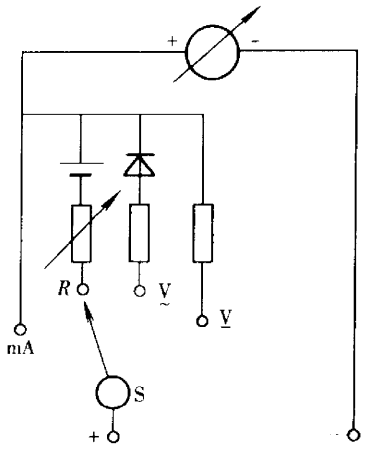


图 10－9　万用表的简化原理线路图

（6）万用表的标度盘上有多条标度尺，它们代表不同的测量种类。测量时应根据转换开关所选择的种类及量程，在对应的标度尺上读数，并应注意所选择的量程与标度尺上的读数的倍率关系。

（7）测量电阻时，应选择合适的倍率位置，由于电阻档的标度尺是反刻度方向，即左边是“∞”（无穷大），最右边是“0”，并且刻度不均匀，越往左，刻度越密，读数准确度越差，因此应使指针偏转在刻度较稀处，且以偏转在标度尺的中间附近为好。

（8）测量电阻前，应进行调零，将红黑两根表棒短接，同时转动电阻调零旋钮，使指针指到电阻标度尺的“0”刻线上。每更换一次倍率档，都应先调零，才能进行测量。指针调不到零位，应更换新的电池。

（9）测量电阻时，应切断被测电路的电源。被测电阻至少有一端应与被测电路断开。

（10）在测量较高电压和较大电流时，不能带电转动开关旋钮，以保证人身安全。

（11）万用表不使用时，应将转换开关置于交流电压最高档，以免他人误用，损坏万用表。

（12）若万用表长期不用时，应将表内电池取出，以防电池

腐蚀而损坏其他元件。

六、数字万用表

数字万用表与指针式万用表相比，具有体积小、重量轻、测量范围广、测量功能多、读数直观、准确度高、过载能力强等优点。DT－830 型数字万用表的面板形式如图 10－10 所示。

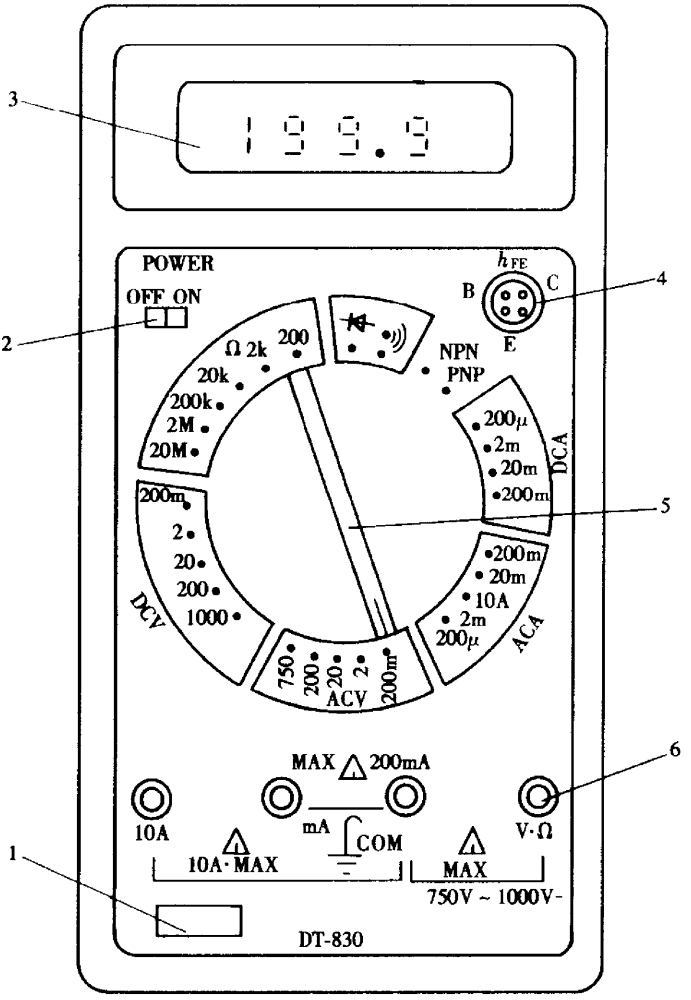


图 10－10　DT－830 型数字万用表面板

1—铭牌；2—电源开关；3—LCD 显示器；4—h_{FE}插口；5—量程开关；6—输入插口

数字万用表的使用方法及注意事项如下：

（1）测量之前，应先估计一下被测量的大小范围，尽可能选用接近满度的量程，这样可提高测量精度，如测100Ω的电阻，宜用200Ω档，而不宜用2kΩ档或更高档。如果预先不能估计被测量值的大小，可从最高量程档开始测，逐渐减少到恰当的量程位置。当测量结果显示只有“半位”上的读数“1”时，表明被测值超出所在档范围（称溢出），说明量程选的太小，应转换量程。

（2）数字万用表在刚测量时，显示屏上的数值会有跳数现象，应待显示数值稳定后才能读数。

（3）严禁在测量的同时拨动量程开关，特别是高电压、大电流的情况，以免产生电弧烧坏量程开关。

（4）当用数字万用表检查测量线路通断时，应将量程开关拨到“”蜂鸣器档，若蜂鸣器发出声音，说明线路接通。

（5）使用数字万用表电容档测量电容时，因各电容档都存在失调电压，不测电容时也会显示从几个到几十个字的初始值。因此在测量前必须调整零位调节旋钮，使初始值为000或－000，然后再插上被测电容。测量时两手不得碰触电容的电极引线或表笔的金属端，否则数字万用表将严重跳数，甚至过载。

（6）当发现数字万用表电池电压过低告警指示时，应更换电池。

第2节　线圈的检查

一、外观检查

线圈的外观必须符合下列要求：

（1）电磁线必须排列整齐，避免交叉混乱。

（2）线圈的几何形状和尺寸必须适当。对于新绕制的线圈，必须经过试嵌装，线圈的端部不能太长，也不能太短。

（3）电磁线的绝缘必须良好，不允许有点滴破损，所有拐角部位应做到圆滑无折拐现象。

二、线圈匝数的检查

线圈的匝数必须符合设计要求，因为匝数多了不仅浪费电磁线，造成嵌线困难，还会使电动机的漏电抗增大，最大转矩和起动转矩倍数降低。匝数少了，电动机的空载电流增大，功率因数降低。若三相绕组匝数不相等，将造成三相电流不平衡，也将使电动机的性能变坏。因此，线圈绕制好后，必须通过严格的匝数检查。对于匝数多的线圈，可用匝数试验器进行检查。

匝数试验器的结构如图 10－11 所示。它是一个开口变压器，磁轭可以分开，在左侧铁心柱上套有励磁绕组 WE（即一次线圈），并接入 220V 交流电源，在右侧铁心柱上套有标准线圈 W2

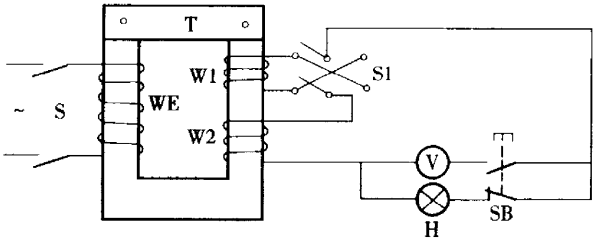


图 10－11　线圈匝数试验装置原理图

T—开口变压器；H—极性指示灯；WE—励磁绕组；W1—被试线圈；W2—标准线圈；V—交流电压表；S1—双刀双掷开关；SB—双联按钮；S—刀开关

和被侧线圈 W1，励磁绕组通入交流电后，先将双刀双掷开关 S1 置于左侧，如果极性指示灯 H 亮，则表明线圈 W1 和线圈 W2 极性相同。再将开关 S1 置于右侧，使线圈 W1 与线圈 W2 极性反接，再按下按钮 SB，若电压表指示为零，则表明被试线圈匝数正确，若电压表指示不为零，则表明被试线圈匝数有误。为了提高测试灵敏度，开口变压器应设计成每匝电压为 0.5V 以上。

第 3 节　嵌线后绕组的检查与试验

绕组嵌线后的质量检查与试验包括外表检查、绕组绝缘电阻

的测定、绕组直流电阻的测定等。

一、外表检查

嵌线后，绕组的外表检查应包括下列内容：

（1）嵌入的线圈，直线部分应平直、整齐，端部应没有严重的交叉现象。端部高度应符合要求。

（2）电磁线绝缘的损伤应包扎正确，接头的包扎也应正确。绕组对机座等必须保持一定的距离。

（3）各部分的绝缘应当垫好，端部的绑扎必须牢固。

（4）槽楔不能高于铁心，伸出两端的长度应当相等，端部槽楔不能破裂，并且应有可靠的紧度，槽口绝缘应包好，压在槽楔下。

（5）槽口处绝缘无破裂，所有绝缘材料应无松动及凸出现象，以免电机运转时受风吹，发出声响，增大电机噪声。

二、绕组绝缘电阻的测定

测量绕组对机座以及绕组相与相之间的绝缘电阻，是最简便而无破坏作用的试验方法，它可以判断绕组是否受潮，绝缘的质量是否能够达到使用要求，或有无严重缺陷。

绝缘电阻值通常用兆欧表测量。兆欧表的选用、接线及绝缘电阻的测量方法与注意事项，可参考前面章节的有关内容。对于绕线转子异步电动机，还应测量转子绕组的绝缘电阻。如果三相异步电动机的定子、转子绕组在电机内部已接成星形或者三角形连接，可以只测它们对机壳的绝缘电阻。

测量时，应分别在实际冷状态（室温）下和热状态下进行。电动机绕组在冷状态下的绝缘电阻应大于或等于下式所求得的数值

$$R_i \geqslant \frac{1000 + U_N}{1000}$$

式中 R_i——电机绕组的绝缘电阻计算值，MΩ；

U_N——电机绕组的额定电压，V。

绕组在热态下的绝缘电阻应大于或等于下式所求得的数值

$$R_i \geqslant \frac{U_N}{1000 + \frac{P_N}{100}}$$

式中 R_i——电机绕组的绝缘电阻计算值，MΩ；

U_N——电机绕组的额定电压，V；

P_N——电机的额定功率，kW。

三、绕组直流电阻的测定

测量绕组的直流电阻，其目的是检查三相电阻是否平衡，是否与设计值相符，并可作为检查匝数、线径和接线是否正确，焊接是否良好等缺陷时的参考。

1. 电桥法

电桥法是测量绕组的直流电阻最简单的方法。电桥有两种，一种是双臂电桥；另一种是单臂电桥。小于1Ω的电阻用双臂电桥测量，测量值应取到电桥所能达到的最大位数。大于1Ω的电阻用单臂电桥测量。不管用哪一种电桥测量电阻都应做到测量时引线要尽量短一些，连接点要接牢，尽可能加大接触面积，来减小接触电阻，提高测量精度。

为了减小测量误差，双臂电桥的接线要严格按图10－12所示接线。在测量同一台电动机的电阻时，电桥的量程开关最好拨在同一位置。

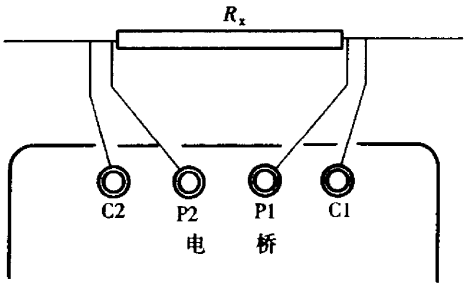


图10－12 双臂电桥测量接线图

测量时，如果装上了转子时，转子应静止不动。对于定子绕组，应在电动机的出线端上测量；对于绕线转子绕组，应尽可能

在绕组与集电环的接线螺钉上测量，否则可在集电环上测量。

如果三相绕组的始末端都已单独引出，或者电动机绕组为星形连接，并有星点引出时，则应分别测量每一相绕组的电阻（称为相电阻）R_A、R_B、R_C。对于只引出三个出线端的绕组，则只能测量每两个线端之间的电阻（称线电阻）R_{AB}、R_{BC}、R_{CA}，而其相电阻可按下式计算：

（1）三相绕组为星形连接时

$$R_A = R_P - R_{BC}$$

$$R_B = R_P - R_{CA}$$

$$R_C = R_P - R_{AB}$$

（2）三相绕组为三角形连接时

$$R_A = \frac{R_{AB}R_{BC}}{R_P - R_{CA}} + R_{CA} - R_P$$

$$R_B = \frac{R_{BC}R_{CA}}{R_P - R_{AB}} + R_{AB} - R_P$$

$$R_C = \frac{R_{CA}R_{AB}}{R_P - R_{BC}} + R_{BC} - R_P$$

$$R_P = \frac{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}{2}$$

如果三个线电阻平衡，即 $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA}$时，或当所测每个线电阻与三个线电阻平均值之差，对于星形接法不超过平均值的±2%，对于三角形接法不超过平均值的±1.5%时，可使用下述关系式求取相电阻。

星形连接时　　$R_A = R_B = R_C = \frac{1}{2}R_{AB}$

三角形连接时　　$R_A = R_B = R_C = \frac{3}{2}R_{AB}$

电阻的实际数值一般采用三次测量的算术平均值。对于中小

型电动机，同一电阻每次测量值与其平均值不得超过 ±0.5%，与设计值比较，不得超过 ±4%。

2. 电流电压法

绕组的直流电阻一般用电桥进行测定，也可用电流电压法测出加在绕组两端的电压 U 和通过绕组的电流 I，然后用公式求出被测电阻 R_x。

电流电压法测量绕组直流电阻的接线图如图 10－13 所示。图 10－13（a）为电压表后接法，它适用于所用电压表的内阻 r_U 远大于被测电阻 R_x 的场合，有的标准规定两者的比值大于或等于 200 时采用此法。图 10－13（b）为电压表前接法，它适用于电流表的内阻 r_I 远小于被测电阻 R_x 的场合。测量时，无论采用哪一种方法，都要求直流电源稳定，仪表接线正确并接触良好，为了提高测量的准确度，测量时间要尽量短；且通入绕组的电流不应大于绕组额定电流的 20%，并应同时测量绕组温度。若不进行修正时

$$R_x = \frac{U}{I}$$

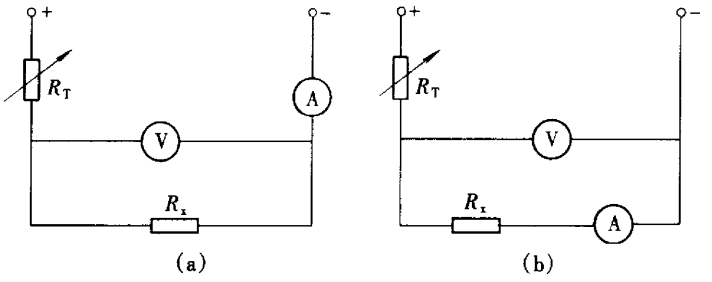


图 10－13　电流电压法测量绕组直流电阻接线图

（a）电压表后接法；（b）电压表前接法

对电压表后接法进行仪表误差修正时

$$R_x = \frac{Ur_U}{Ir_U - U}$$

对电压表前接法进行仪表误差修正时

$$R_x = \frac{U}{I} - r_I$$

式中 R_x——被测电阻，Ω；

U——电压表读数，V；

I——电流表读数，A；

r_U——电压表内阻，Ω；

r_I——电流表内阻，Ω。

第4节 装配后电动机的检查与试验

为了保证电动机的修理质量，对已修复的电动机，应进行一些必要的试验，以检验电动机的修理质量。试验大致包括以下几个项目：①绝缘电阻的测定；②耐压试验；③空载试验；④短时升高电压试验；⑤堵转试验；⑥温升试验；⑦超速试验和短时电流过载试验等。其中有些试验可根据需要选做。

一、装配质量的检查

装配质量的检查包括各部分的零件是否齐全，位置是否正确，紧固螺栓是否旋紧；转子转动是否灵活，有无摩擦现象；轴承运转是否正常，有无杂音，如果是滑动轴承，还应检查油杯内是否有油，用油是否清洁，油量是否充足，有无漏油现象及油环转动是否灵活。此外，还要检查引出线的标记是否正确；出线盒内接线柱和连接片是否齐全；出线套管是否完整无损；对于绕线转子电动机，还应检查电刷提升短路装置的操作机构是否灵活；电刷与集电环（滑环）接触是否良好；电刷位置是否正确；电刷与刷盒（刷握）的配合是否合理。

若需测量电动机轴伸偏摆时，应将电动机和千分表座放在同一平板上，千分表的测针对准轴伸长度的一半处。测针靠住轴表面，慢慢转动电动机转子，记下千分表读数的变动量。其值不应

超过表 10－1 中规定的允许偏摆值。

表 10-1　　电动机轴伸的允许偏摆

轴伸直径（mm）	允许偏摆（mm）	轴伸直径（mm）	允许偏摆（mm）
6～10	0.025	>50～80	0.060
>10～18	0.030	>80～120	0.080
>18～35	0.040	>120～180	0.100
>35～50	0.050		

二、耐压试验

对于全部更换绕组的电动机，如有条件，在修复后应进行绕组对机壳及绕组相互间绝缘介电强度试验（俗称耐压试验）。试验电压为 50Hz 交流电压。对于 1kW 以下或额定电压不超过 36V 的电动机，试验电压的有效值为 2 倍额定电压加 500V；对于 1kW 以上、额定电压超过 36V 的电动机，试验电压的有效值为 2 倍额定电压加 1000V。试验时间为 1min。对于部分更换绕组的电动机，若需进行耐压试验时，其试验电压的有效值不应超过上述规定值的 75%。耐压试验应在绝缘电阻达到规定的数值后进行。

对额定电压为 380V，功率在 40kW 以下不重要的异步电动机，其耐压试验也可用 2500V 的兆欧表代替。试验时，以兆欧表额定转速（120r/min 左右的速度）摇动手柄。指针稳定偏转 1min，无因击穿而造成的示值突然下降，即为合格。

三、空载试验

空载试验的目的是初步检查电动机装配质量，运转是否正常，有无异常噪声和振动，空载电流和损耗是否在正常波动范围内。

电动机通过上述各项试验和检查后，即可在定子绕组上加上三相平衡的额定电压空载运转，异步电动机的空转时间视其容量大小而不同，一般可参考表 10－2。当电动机要进行型式试验时，空转时间加倍。

表 10－2　　异步电动机空转检查时间

额定功率 P_N (kW)	$P_N<1$	$1\leqslant P_N<10$	$10\leqslant P_N<100$	$100\leqslant P_N<1000$	$P_N\geqslant 1000$
空转时间 (min)	5	15	30	60	120

在电动机空转期间，应注意定、转子是否相擦；电动机是否有过大噪声及异响；铁心是否过热；轴承温度是否正常。对于绕线转子异步电动机，还应检查电刷有无火花、过热等现象。

检查电动机空载状态的同时，应测量电动机的空载电流。空载电流的测量可使用普通电流表或钳形电流表进行。对测得的电流应作以下比较：

（1）三相电流是否平衡。在三相电源实际对称时，测得的各相电流与三相平均电流之差应小于 10%。如果某相电流超过三相电流平均值 20%以上，则该相绕组有可能匝间短路或轻微接地，或三相绕组的匝数有误。

（2）空载电流是否稳定。测量电流时，电流表的指针不应有大的摆动。若电流表的指针随转子转动而摆动，则可能是转子有断条故障或定子绕组有故障。

（3）空载电流与额定电流的百分比是否超过允许范围。异步电动机空载电流的大小与电动机的结构、电动机的性能密切相关。电动机空载电流与额定电流的百分比可参考表 10－3。如果空载空流与额定电流的百分比过大，则说明电动机气隙过大或定子绕组匝数偏少；若空载电流与额定电流的百分比过小，则说明定子绕组匝数偏多，可能是将三角形连接误接成星形连接或将二路误接成一路等所致。

四、短时升高电压试验

短时升高电压试验（匝间绝缘试验）的目的是检查定子、转子绕组匝间绝缘的介电强度。试验电压可由变压器或自耦变压器得到。由于笼型异步电动机的转子绕组自身短路，故短时升高电压试验须在空载运转状态下进行。但对绕线转子异步电动机进行

试验时，转子绕组应开路并且静止，必要时应将转子堵住。

表 10－3　　异步电动机空载电流与额定电流的百分比　　（%）

极　数	额　定　功　率　（kW）					
	0.125 以下	0.125～0.5	0.55～2	2.2～10	11～50	55～100
2	70～95	45～70	40～55	30～45	25～35	18～30
4	80～96	65～85	45～60	35～55	25～40	20～30
6	85～97	70～90	50～65	35～65	30～45	22～33
8	90～98	75～90	50～70	37～70	35～50	25～35

试验时，先将电动机定子绕组施以额定电压，如情况正常，就继续升高电压到额定电压的 130%，试验时间为 3min。对于在 130%额定电压下空载电流超过额定电流的电动机，试验时间可缩短到 1min。试验中若出现下述异常现象，则表明绕组匝间短路，须立即切断电源，以免扩大成相间短路或对地短路：

（1）电动机冒烟、跳弧或发出焦味。

（2）电动机有强烈的振动和电磁噪声。

（3）三相电流有不正常的变化或不平衡。

（4）端电压突然下降。

（5）绕线转子异步电动机转子开路自起动。

绕组匝间短路大多在试验过程的前 2min 内就发生。至于哪个线圈匝间短路，可根据线圈局部过热、变色、流胶和有焦味等来判别。

对于绕线转子异步电动机，应在转子静止和开路时进行试验。这时，加于定子绕组的试验电压要高于额定电压的 30%，转子绕组中所感应的电压也就高于额定电压的 30%，这样就同时对定子、转子绕组进行了试验。

五、绕线转子异步电动机转子开路电压的测定

绕线转子三相异步电动机在转子绕组开路的情况下，与变压器相似，在定子绕组加三相额定电压，转子绕组上就有感应电压。此时，转子任意两个集电环之间的电压称为转子开路电压。

定子、转子相电压之比称为变压比。测定转子开路电压的目的是检查定子、转子绕组的匝数、节距和接线是否正确。

试验时，将转子绕组开路，在定子绕组施加三相额定电压，如无匝间短路或转子开路自起动等异常现象，应同时测量定子绕组及转子集电环上的三相线电压。转子电压可通过导线接到试验台上测量，也可通过绝缘探针直接在集电环上测量，此时须注意防止集电环相间短接。

当定子三相电压对称时，转子三相开路电压最大值或最小值与平均值之差，不得超过平均值的±20%。定子外施额定电压时的转子开路电压，与设计值（即铭牌标明的转子电压）之差不得超过±5%。在确认定子绕组正常的条件下，转子绕组开路电压过高或过低，说明转子绕组的匝数、节距或接线不正确，或绕组可能有匝间短路，以及并联支路匝数不等而存在环流等缺陷。

对于转子开路电压在600V以上的电动机，试验时可以适当降低定子绕组外施电压，以便用电压表直接测量转子电压。此时，转子电压测定值 U_2' 可按下式换算到定子绕组为额定电压时的数值。

$$U_2 = U'_2 \frac{U_N}{U_1}$$

式中 U_1——定子绕组外施电压，V；

U_N——定子绕组额定电压，V；

U_2'——定子绕组电压为 U_1 时，转子绕组的开路电压，V；

U_2——定子绕组电压为 U_N 时，转子绕组的开路电压，V。

测量高压电动机的转子开路电压时，定子电压最好由（0.1～0.2）U_N 逐渐升高到所需数值，以免转子有短路回路而直接起动等。

试验时，由于电动机气隙不均匀所产生的单边磁拉力和转子重量在轴承上产生的静摩擦力矩，一般能使转子处于静止状态。但采用滚动轴承的电动机，轴承静摩擦力矩很小，当气隙磁场在转子铁心、压圈、钢丝箍中感应的涡流较大时，即使转子绕组开

路，转子也会慢慢转动。此时，须将转子堵住（卡住）后再测量，若转子开路电压及电动机噪声正常，则表明转子无短路。

六、单相异步电动机起动元件断开时转速的测定

测取单相异步电动机起动元件断开时的转速有灭灯法和亮灯法两种，其接线图如图 10－14 所示。

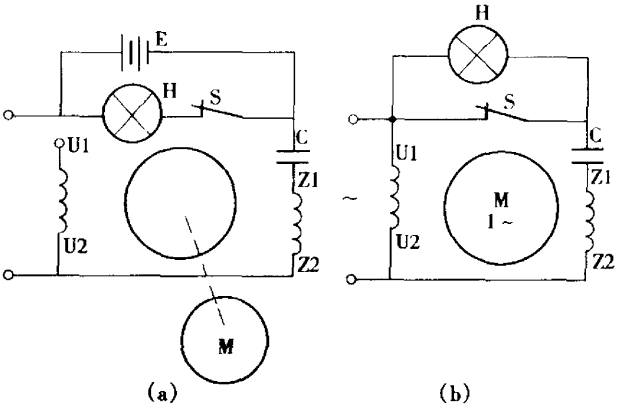
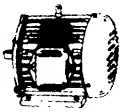


图 10－14　用“试灯法”测取起动元件断开时的转速
(a) 灭灯法；(b) 亮灯法

当采用灭灯法时，在副绕组回路中串接一只指示灯（或电压表），并施加适当电压的电源使指示灯在起动元件闭合时发亮（或使电压表指示某一数值）。并应注意将主绕组与副绕组回路断开，如图 10－14（a）所示。试验时，被试电动机由其他可调速的电动机拖动。使电动机的转速从零开始逐渐增加，用转速表测量被试电动机的转速，待指示灯突然熄灭（或电压表突然指示为零）时，记下此时被试电动机的转速，此转速值即为起动元件断开时单相异步电动机的转速。

当采用亮灯法时，将指示灯（或电压表）与起动元件并联，如图 10－14（b）所示。试验时，接通被试电动机的电源，用转速表测量被试电动机的转速，待指示灯突然发光（或电压表突然有示值）时，记下此时电动机的转速，此转速值即为起动元件断开时单相异步电动机的转速。

第10章 异步电动机绕组改绕时的简易计算



第1节 电磁线代用

在笼型三相异步电动机修理中，如果一时无法找到所需规格的电磁线（通称导线），就要设法用其他规格的电磁线代用，以便及时修复电动机，这就需要进行一些必要的计算。当保持电磁线的电流密度和电动机的槽满率基本不变时，不同规格电磁线的代用可采用下列简易计算方法：

（1）改变并绕根数 n。

（2）改变并联支路数 a。

（3）星形（Y）连接改为三角形（△）连接。

（4）三角形（△）连接改为星形（Y）连接。

一、改变并绕根数 n

设原电动机所采用的电磁线直径为 d，截面积为 A，由 n 根电磁线并绕。现改用 n' 根电磁线并绕时，在保持电动机的并联支路数和接法不变的情况下。只要保证改变并绕根数后，电磁线截面积之和不变，则电流密度也不变，即

$$n'A' = nA$$

$$A' = \frac{n}{n'}A$$

或

$$d' = \sqrt{\frac{n}{n'}}d$$

式中 d、A、n——原电动机所采用的电磁线直径、截面积及

并绕根数；

d'、A'、n'——改变并绕根数后的电磁线直径、截面积及并绕根数。

二、改变并联支路数 a

设原电动机所采用的电磁线直径为 d、截面积为 A，并绕根数为 n、并联支路为 a，若保持该电动机原并绕根数 n 不变，而将其并联支路数改变为 a'时，为保证导线的电流密度不变，则电磁线的截面积应与并联支路数成反比变化，即

$$A' = \frac{a}{a'}A$$

或

$$d' = \sqrt{\frac{a}{a'}}d$$

此时，原电动机的每槽导体数 N 必须相应改变，为保证改变并联支路数后，每相串联匝数（即每相每条支路的匝数）不变，则每槽导体数应与并联支路数成正比变化，即

$$N' = \frac{a'}{a}N$$

式中 N——原电动机的每槽导体数（又称每槽线数）；

N'——改变并联支路数后，电动机的每槽导体数（又称每槽线数）。

三、星形连接改三角形连接

当外施电源电压不变时，由星形连接改成三角形连接将使电动机定子绕组的相电压增加为原相电压的$\sqrt{3}$倍，即 $\frac{U_{1\triangle\phi}}{U_{1Y\phi}} = \sqrt{3}$；而相电流减少为原相电流的$\frac{1}{\sqrt{3}}$倍，即$\frac{I_{1\triangle\phi}}{I_{1Y\phi}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$，而其额定输出功率仍然不变。当改变三相绕组的连接方法后，为保证电动机的气隙磁通密度不变，则每槽导体数应与定子绕组的相电压成正比变化，故

$$\frac{N_{\triangle}}{N_{Y}} = \frac{U_{1\triangle\phi}}{U_{1Y\phi}} = \sqrt{3}$$

即
$$N_{\triangle} = \sqrt{3}N_{Y} = 1.732N_{Y}$$

式中 N_{Y}——星形连接时，电动机的每槽导体数；

$N_{\triangle}$——三角形连接时，电动机的每槽导体数。

此时，为保证电流密度不变，电磁线的截面积应与定子绕组的相电流成正比变化，故

$$\frac{A_{\triangle}}{A_{Y}} = \frac{I_{1\triangle\phi}}{I_{1Y\phi}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

即
$$A_{\triangle} = \frac{1}{\sqrt{3}}A_{Y} = 0.577A_{Y}$$

或
$$d_{\triangle} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{3}}}d_{Y} = 0.76d_{Y}$$

式中 d_{Y}、A_{Y}——Y接时，电磁线的直径及截面积；

$d_{\triangle}$、$A_{\triangle}$——△接时，电磁线的直径及截面积。

四、三角形连接改星形连接

当外施电源电压不变时，由三角形连接改成星形连接将使电动机定子绕组的相电压减少为原相电压的$\frac{1}{\sqrt{3}}$倍，即$\frac{U_{1Y\phi}}{U_{1\triangle\phi}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$；而相电流增加为原相电流的$\sqrt{3}$倍，即$\frac{I_{1Y\phi}}{I_{1\triangle\phi}} = \sqrt{3}$，而其额定输出功率仍然不变。同理，当改变三相绕组的连接方法后，为保证电动机的气隙磁通密度和电磁线的电流密度不变，星形连接时电动机的每槽导体数 N_{Y}、导线的直径 d_{Y} 及截面 A_{Y} 应按下列各式计算

$$N_{Y} = \frac{1}{\sqrt{3}}N_{\triangle} = 0.577N_{\triangle}$$

$$A_{Y} = \sqrt{3}A_{\triangle} = 1.732A_{\triangle}$$

或
$$d_{Y} = \sqrt{1.732}d_{\triangle} = 1.316d_{\triangle}$$

在实际应用中应注意：

(1) 当采用上述各简易计算方法，求出电磁线直径 d 后，应参考电磁线常用数据表选择与计算结果相近的电磁线标称直径(即线规)。

(2) 当改变电动机的接法后，必须修改铭牌上所标明的接法，以免使用时误会，烧毁电动机。

(3) 可根据上述方法综合考虑，灵活运用，从中找出合适的线径。

(4) 根据上述方法，计算出每槽导体数 N 后，应取成整数(当定子绕组为双层绕组时，应取偶数)。

(5) 为使电动机的槽满率基本不变，确定代用电磁线的直径及每槽导体数后，应对槽满率进行校核 (见例 11-1)。

【例 11-1】 现有一台笼型三相异步电动机，额定功率 $P_N = 30\text{kW}$，极数 $2P = 8$，原绕组数据为：电磁线直径 $d = 1.30\text{mm}$，并绕根数 $n = 3$，每槽导体数 $N = 22$，并联支路数 $a = 2$，三角形连接，双层叠绕组。现无 1.30mm 的电磁线，试求代用线径。

解 (1) 改变并绕根数 n。

并绕根数改为 2 根时的线径为

$$d' = \sqrt{\frac{n}{n'}}d = \sqrt{\frac{3}{2}} \times 1.30 = 1.592(\text{mm})$$

查电磁线规格表，取 $d' = 1.60\text{mm}$。

并绕根数改为 4 根时的线径为

$$d' = \sqrt{\frac{n}{n'}}d = \sqrt{\frac{3}{4}} \times 1.30 = 1.126(\text{mm})$$

查电磁线规格表，取 $d' = 1.12\text{mm}$。

(2) 改变并联支路数 a。

当并联支路数改为 4 路，并绕根数仍为 3 时

$$d' = \sqrt{\frac{a}{a'}}d = \sqrt{\frac{2}{4}} \times 1.30 = 0.919(\text{mm})$$

$$N' = \frac{a'}{a}N = \frac{4}{2} \times 22 = 44(\text{根} / \text{槽})$$

查电磁线规格表，取 $d' = 0.90\text{mm}$。

（3）三角形连接改成星形连接，并绕根数仍为 3、并联支路数仍为 2 时

$$d_Y = 1.316 d_\triangle = 1.316 \times 1.30 = 1.711(\text{mm})$$

$$N_Y = 0.577 N_\triangle = 0.577 \times 22 = 12.69(\text{根}/\text{槽})$$

取 12 根/槽。查电磁线规格表，取 $d' = 1.70\text{mm}$，截面积 $A' = 2.271\text{mm}^2$。但是，为了便于嵌线，一般 $d' > 1.60\text{mm}$ 时，应采用多根并绕，故选用两根 $d' = 1.20\text{mm}$ 的导线并绕，其截面积 $A' = 2 \times 1.131 = 2.262\ (\text{mm}^2)$。

同理，还可以算出其他线径，从这些计算结果中找到手头已有的电磁线，就可以代用。

另外，为保证电动机的槽满率基本不变，还应对电动机的槽满率进行校核。其具体方法是，新选用电磁线的直径（包括电磁线的绝缘）的平方与其对应的每槽导体数的乘积应近似等于原电磁线的直径（包括电磁线的绝缘）的平方与原每槽导体数的乘积。

第 2 节　改变笼型三相异步电动机的极数

由电机学可知，当电源频率一定时，三相异步电动机的转速与电动机的极数成反比。在实际工作中，有时为了生产上的需要，要改变电动机绕组的连接方式，或重新改变绕组设计来改变电动机的极数，使其获得所需要的转速。

改极一般较多地用于笼型异步电动机。因为改变绕线转子异步电动机的极数时，必须同时改变转子绕组的极数，其改极工作较为复杂，故很少采用。

改变电动机极数一般有两种情况：第一种情况是不改变定子绕组中各线圈的数据，只改变极相组（即线圈组）之间的连线，从而得到不同的极数；第二种情况是需要重新改变绕组设计。

一、改极计算应注意的问题

电动机改极计算时，必须考虑以下几个方面的问题：

（1）改极的电动机必须注意电动机定子槽数 Z_1 与转子槽数 Z_2 的配合，并避免出现下面的关系，即

$$Z_1 - Z_2 = \pm 2p$$

$$Z_1 - Z_2 = 1 \pm 2p$$

$$Z_1 - Z_2 = \pm 2 \pm 4p$$

式中 p——极对数。

否则电动机可能发生强烈的噪声，甚至不能运转。

（2）改极时必须考虑到电动机的功率将与转速近似成正比变化，同理，电动机的功率与极数近似成反比变化。例如，7.5kW、4 极电动机改为 6 极，功率将降低为 5kW $\left(\frac{4}{6} \times 7.5 = 5\text{kW}\right)$。在改极前就应考虑到改极后，电动机的功率是否适合配用的机械设备。

（3）由于定子铁心的尺寸与极数有关，现将按某一极数设计的定子铁心改作另一极数来用，定子铁心的尺寸比例（主要是轭部高度）不尽合理。因此不宜使改极前后电动机的转速相差过大。尤其是对于提高转速的改绕。例如不宜将 6 极电动机改为 2 极，也不宜将 4 极电动机改为 10 极。

（4）降低电动机的转速时，将使电动机的通风情况和散热条件变差，会影响电动机的功率。

（5）提高电动机的转速时，还应考虑转子和转轴的机械强度是否允许，轴承是否会过热等，必要时应进行验算。

（6）绕线转子异步电动机改变极数时，必须将定子绕组和转子绕组的极数同时改变。

二、改变电动机极数的简易计算方法

1. 改极后的线圈节距 y'（槽）

$$y' = y \frac{2p}{2p'}$$

式中 y——电动机原来线圈节距（如原节距 $y=1-9$ 时，即取 $y=8$）；

$2p$、$2p'$——电动机改极前、后的极数；

y'——改极后的线圈节距，应取整数（若 $y'-5$，可表示为 $y'=1-6$）。

2. 原绕组数据已知的改极计算

（1）每槽导体数（又称每槽导线数）N'（根/槽）为

$$N' = K_g N \frac{2p'a'K_{dP}}{2paK'_{dP}}$$

式中 a、a'——电动机改极前、后的并联支路数；

N——电动机原来每槽导体数（根/槽）；

K_g——极数改变引起气隙磁密变化的调整系数，当将少极数改为多极数时，取 $K_g=0.9\sim0.95$，将多极数改为少极数时，取 $K_g=1.0\sim1.05$；

K_{dP}、K'_{dP}——改极前、后的绕组系数。

绕组系数 K_{dP}的计算公式如下

$$K_{dP} = K_d K_P$$

式中 K_d——分布系数，可根据每极每相槽数 q 由表 11-1 查得（$q=\dfrac{Z_1}{2pm}$，其中 m 为相数，三相异步电动机 $m=3$）；

K_P——节距系数，单层绕组取 $K_P=1$，双层绕组根据节距 y 和极距 τ（$\tau=\dfrac{Z_1}{2p}$）由表 11-2 查得；

N'——改极后每槽导体数，应取整数，双层绕组应取偶数。

表 11-1　　三相异步电动机绕组分布系数 K_d

每极每相槽数 q	1	2	3	4	5	6	7	8	∞
分布系数 K_d	1.0	0.966	0.96	0.958	0.957	0.957	0.956	0.956	0.955

表 11－2　　三相异步电动机双层绕组节距系数 K_p

节距 y	极　距　τ　（槽）												
（槽）	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
24	1.0												
23	0.998												
22	0.991												
21	0.981												
20	0.966												
19	0.947												
18	0.924	1.0											
17	0.897	0.996											
16	0.866	0.985	1.0										
15	0.832	0.966	0.995	1.0									
14	0.793	0.94	0.981	0.995	1.0								
13	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.0							
12	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.0						
11		0.819	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.0					
10		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.99	1.0				
9		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.96	0.988	1.0			
8			0.707	0.743	0.782	0.838	0.866	0.91	0.951	0.985	1.0		
7				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.94	0.981	1.0	
6						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.0
5								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.966
4										0.643	0.707	0.782	0.866
3												0.624	0.707

（2）改极后的电磁线直径 d' 或电磁线截面积 A'

$$d' = d\sqrt{\frac{N}{N'}} \text{ 或 } A' = A\frac{N}{N'}$$

式中　d——电动机原绕组电磁线直径，mm；

A——电动机原绕组电磁线截面积，mm^2；

N、N'——改极前、后每槽导体数；

A'——改极后的电磁线截面积，mm^2；

d'——改极后的电磁线直径，mm，一般当电磁线直径大于 1.6mm 时，应采用多根并绕。

(3) 改极后的电动机输出功率 P'_N。

$$P'_N = P_N \frac{d'^2}{d^2}$$

或

$$P'_N = P_N \frac{A'}{A}$$

式中 P_N、P'_N——改极前、后的输出功率，kW；

d、d'——改极前、后的绕组电磁线直径，mm；

A、A'——改极前、后的绕组电磁线截面积，mm^2。

【例 11-2】 现有一台笼型三相异步电动机，铭牌数据为额定功率 $P_N = 5.5kW$，极数 $2P = 6$，额定电压 $U_N = 380V$；原绕组数据为电磁线直径 $d = 1.25mm$，并绕根数 $n = 1$，每槽导体数 $N = 42$，并联支路数 $a = 1$，三角形连接，单层链式绕组，定子槽数 $Z_1 = 36$，线圈节距 $y = 5$ 即 $y = 1-6$，每极每相槽数 $q = 2$。

现拟改为 4 极，绕组型式改为单层交叉式绕组，求绕组重绕数据。

解 1. 改为 4 极后线圈节距 y'

$$y' = y \frac{2p}{2p'} = 5 \times \frac{6}{4} = 7\frac{1}{2}$$

因为采用单层交叉式绕组，故取 $y = \begin{cases} 2/1-9 \\ 1/1-8 \end{cases}$（即两个大线圈节距 $y = 8$，一个小线圈节距 $y = 7$）。

2. 计算绕组系数

(1) 极距。

6 极 $\quad \tau = \dfrac{Z_1}{2p} = \dfrac{36}{6} = 6(槽)$

4 极 $\quad \tau = \dfrac{Z_1}{2p'} = \dfrac{36}{4} = 9(槽)$

(2) 每极每相槽数。

6 极 $\quad q = \dfrac{Z_1}{2pm} = \dfrac{36}{6 \times 3} = 2$

4 极 $\quad q = \dfrac{Z_1}{2p'm} = \dfrac{36}{4 \times 3} = 3$

(3) 分布系数。根据每极每相槽数 q，由表 11－1 查得：

6 极　$K_d = 0.966$

4 极　$K'_d = 0.96$

(4) 节距系数。双层绕组根据极距 τ 和节距 y，由表 11－2 查得；单层绕组的节距系数 $K_P = 1$。

6 极　单层链式绕组　$K_P = 1$。

4 极　单层交叉式绕组　$K'_P = 1$。

(5) 绕组系数。

6 极　$K_{dP} = K_d K_P = 0.966 \times 1 = 0.966$

4 极　$K'_{dP} = K'_d K'_b = 0.96 \times 1 = 0.96$

3. 每槽导体数

改为 4 极后，取并联支路数 $a' = 1$。

因为将多极数改为少极数，所以取气隙磁密的调整系数 $K_g = 1.03$。

$$N' = K_g N \frac{2p'a'K_{dP}}{2paK'_{dP}} = 1.03 \times 42 \times \frac{4 \times 1 \times 0.966}{6 \times 1 \times 0.96} = 29.02(\text{根}/\text{槽})$$

取 $N' = 29$ 根/槽

4. 改极后的电磁线直径 d'

$$d' = d\sqrt{\frac{N}{N'}} = 1.25\sqrt{\frac{42}{29}} = 1.504(\text{mm})$$

取 $d' = 1.50\text{mm}$。

5. 改极后电动机的输出功率

$$P'_N = P_N \frac{(d')^2}{d^2} = 5.5 \times \frac{1.50^2}{1.25^2} = 7.92(\text{kW})$$

第 3 节　改变笼型三相异步电动机的电压

当根据生产需要，欲将原来额定电压为 U_N 的三相异步电动机改在另一电压为 U'_N 的电源上运行时，需要将电动机定子绕组进行

改接或改绕。即改变三相异步电动机的电压一般有两种方法：①通过将定子绕组改接使电动机适用于另一电压；②进行重绕计算。

一、改压计算应注意的问题

（1）用改变接线的方法来改变电压时，由于电动机的主绝缘没有变动，因此应考虑原来电动机的绝缘质量是否能承受改接后的电压。

（2）进行重绕来改变电压时，若将低压电动机改为高压电动机，由于槽中绝缘的加厚，在保持槽满率基本不变的情况下，导线的截面积需减小，因此电动机的容量将降低，若将高压电动机改为低压电动机，由于槽中绝缘的减少，可以适当增加导线的截面积，电动机的容量可以适当增加，但应注意电动机轴的传动功率能否增加。

（3）对于绕线转子三相异步电动机，无论采用改变定子绕组接线方法，还是采用重绕定子绕组，电动机的转子绕组可以不予改变。

二、改变定子绕组接线方式改压

通常改变电动机的使用电压，其最简单的方法是只改变连接方式（并联支路数 a 及接法），而不改变绕组，以达到节省修理成本和改压目的。它是在保持导线电流密度和每匝电压不变的前提下进行的，这样改接后，电动机的温升及各部磁通密度基本保持不变。

改接的步骤如下：

（1）计算改接前后的电压比 $U_j\%$

$$U_j\% = \frac{U'_N}{U_N} \times 100\%$$

式中 U_N——电动机原来的额定电压，V；

U'_N——改接后电动机的额定电压，V。

（2）查明电动机原绕组的接法（如星形连接或三角形连接）及并联支路数 a。

（3）根据原绕组的接法与并联支路数在表 11－3 原绕组接法

表 11－3　　三相绕组改变接线的电压比

原绕组接线（路数与接法）	绕组改接后的电压比															
	1路Y	2路Y	3路Y	4路Y	5路Y	6路Y	8路Y	10路Y	1路△	2路△	3路△	4路△	5路△	6路△	8路△	10路△
	电压比 U_b%															
1路Y	100	50	33	25	20	16.6	12.5	10	58	29	19.2	14.4	11.5	9.6	7.2	5.8
2路Y	200	100	67	50	40	33	25	20	115.5	58	38.4	29	23	19	14.4	11.5
3路Y	300	150	100	75	60	50	38	30	173	86.4	58	43	35	29	21.7	17.3
4路Y	400	200	133	100	80	67	50	40	231	115.5	77	58	46	38.4	29	23
5路Y	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
6路Y	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115.5	86.4	69	58	43	35
8路Y	800	400	267	200	160	133	100	80	462	231	154	115.5	92	77	58	46
10路Y	1000	500	333	250	200	167	125	100	577	289	192	144	115.5	96	72	58
1路△	173	87	58	43	35	29	21.6	17.3	100	50	33.3	25	20	16.6	12.5	10
2路△	346	173	115.5	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
3路△	519	260	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
4路△	693	346	231	173	138	115.5	87.5	69	400	200	133	100	80	67	50	40
5路△	866	433	289	217	173	144	108	87.5	500	250	167	125	100	83	63	50
6路△	1039	520	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
8路△	1385	693	462	346	277	231	173	139	800	400	267	200	160	133	100	80
10路△	1732	866	577	433	346	289	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

栏横行中找出与 $U_j\%$ 值最接近的数值 $U_b\%$，以此数值 $U_b\%$ 对应向上的接法便是电动机所要改变电压后的接法。

（4）改接后的绕组并联支路数 a' 与极数 $2p$ 关系必须满足下面条件，并应保证每条支路的线圈个数相等。

$$\frac{2p}{a'} = \text{整数}$$

式中 $2p$——电动机的极数；

a'——改接后绕组的并联支路数。

（5）为确保改接后电动机定子绕组的电流密度及电动机的各部分的磁通密度不致变动过大，必须满足下式

$$\frac{U_j\% - U_b\%}{U_b\%} \times 100\% \leqslant \pm 5\%$$

式中 $U_j\%$——电压改变时计算的电压比；

$U_b\%$——由表 11－3 选取的电压比。

【例 11－3】 有一台三相异步电动机，极数 $2p = 8$，额定电压 $U_N = 3000V$，并联支路数 $a = 1$，星形连接。现拟改在 380V 电源上使用，应如何改接绕组？

解 （1）计算电压比

$$U_j\% = \frac{U'_N}{U_N} \times 100\% = \frac{380}{3000} \times 100\% = 12.67\%$$

（2）查表 11－3 原绕组项中的 1 路星形连接一栏，查到最接近的数值是 12.5%，即 $U_b\% = 12.5\%$。对应于上面的接法是 8 路星形连接，即 $a' = 8$。

（3）检验改接后的绕组并联支路数 a' 与极数 $2P$ 关系能否满足改接要求

$$\frac{2p}{a'} = \frac{8}{8} = 1 = \text{整数}$$

满足条件，可以改接。

（4）检查改接后的电压偏差

$$\frac{U_j\% - U_b\%}{U_b\%} \times 100\% = \frac{12.67 - 12.5}{12.5} \times 100\% = 1.36\% < 5\%$$

绕组改接后的电压偏差小于5%，符合要求，可改接为8路星形连接，使用于380V电源上。

三、改变电压的重绕计算

采用改变定子绕组接线方式改压既省料又省工，在改压方案中应优先考虑。但有时因并联支路数与极数的关系不能满足改接条件，或改接后的电压偏差过大时，就要将定子绕组拆除重绕。

电动机绕组重绕时，其接法（星形连接或三角形连接）、每极每相槽数 q 和并联支路数 a 等，均应保持与原绕组的数据相同。为保证电动机的磁通密度和电磁线的电流密度基本不变，一般可按电压与匝数成正比而与电磁线截面积成反比的关系进行改压计算，即

$$N' = N\frac{U'_N}{U_N}$$

式中 N、N'——改压前、后每槽导体数，N'值应取整数（双层绕组时，N'应取偶数），根/槽；

U_N、U'_N——改压前、后电动机的额定电压。

$$A' = A\frac{U_N}{U'_N}$$

或

$$d' = d\sqrt{\frac{U_N}{U'_N}}$$

式中 A、A'——改压前、后电磁线截面积，mm^2；

d、d'——改压前、后电磁线直径，mm。

在电磁线截面积的计算中，没有考虑到槽绝缘的增减。若高压电动机改为低压电动机，由于槽绝缘物的减少，可相应选用截面积较大的电磁线，反之亦然。如果截面积 A'值较大，亦可采用多根并绕或多路并联的办法解决。

【例11-4】 有一台三相异步电动机，铭牌数据为：额定功率 $P_N = 2.2kW$，极数 $2p = 6$，额定电压 $U_N = 420V$；原绕组数据为：电磁线直径 $d = 0.71mm$，并绕根数 $n = 2$，每槽导体数 $N = 49$，并联支路数 $a = 1$，星形连接，单层链式绕组，定子槽数

$Z_1 = 36$。现拟改在 380V 电源上使用，应如何重绕？

解 （1）计算电压比为

$$U_j\% = \frac{U'_N}{U_N} \times 100\% = \frac{380}{420} \times 100\% = 90.5\%$$

（2）查表 11－3 原绕组项中的 1 路星形连接一栏，无接近的数值，故应进行重绕计算。

（3）改压后每槽导体数 N' 为

$$N' = N\frac{U'_N}{U_N} = 49 \times \frac{380}{420} = 44.33(\text{根}/\text{槽})$$

取 $N' = 44$ 根/槽。

（4）原绕组电磁线截面积 A。因为并绕根数 $n = 2$，每根电磁线直径为 0.71mm，每根电磁线截面积为 0.396mm^2。

所以，原绕组电磁线截面积 A 为

$$A = 0.396 \times n = 0.396 \times 2 = 0.792(\text{mm}^2)$$

（5）改压后绕组电磁线截面积 A' 为

$$A' = A\frac{U_N}{U'_N} = 0.792 \times \frac{420}{380} = 0.875(\text{mm}^2)$$

（6）确定改压后电磁线直径 d'。因为改压后电磁线截面积为 0.875mm^2，所以查电磁线规格表，可选用两根 $d' = 0.74$mm 的电磁线并绕。由于每根电磁线截面积为 0.430mm^2，所以改压后绕组电磁线截面积

$$A' = 0.430 \times 2 = 0.86(\text{mm}^2)$$

第 4 节　改变笼型三相异步电动机的频率

当根据生产需要，将原来额定频率为 f_N 的电动机改在另一频率为 f'_N 的电源上运行时，需要将电动机绕组进行重绕或对电动机的容量、电压等进行修正。例如一台额定频率为 60Hz 的电

动机，如果不经处理直接接到频率为 50Hz 的电源上，在电源电压不变的条件下，由于电动机的每极磁通量 Φ 与外施电源的频率成反比，所以，电动机的每极磁通量 Φ 将增加 20%，电动机的磁通密度也将增加 20%，致使电动机的空载电流增高，铁损耗增大。电动机将因铁损耗和铜损耗的增加而发热，甚至烧毁电动机。因此，需要将电动机的绕组进行重绕，或对电动机的容量、电压等进行修正。最常见的措施有以下几种：

（1）恒转矩变频。改频时，保持电动机的转矩不变，对电动机的绕组进行重绕。

（2）恒功率变频。改频时，保持电动机的功率不变，对电动机的绕组进行重绕。

（3）改频时，保持电动机的绕组不变，对电动机的容量、电压等进行修正。

一、改频计算应注意的问题

（1）由于电动机的同步转速 $n_s = \dfrac{60f_1}{p}$，所以改频后，电动机的同步转速 n_s 将随电源频率 f_1 成正比变化，同理电动机的转速 n，也将近似随电源频率 f_1 成正比变化。为保证改频后电动机的转速近似不变，可以在改变电动机频率的同时改变电动机的极对数 p。例如，一台三相异步电动机，额定频率 $f_N = 60\text{Hz}$，极数 $2p = 10$，同步转速 $n_s = 720\text{r/min}$。当接在频率 $f'_N = 50\text{Hz}$ 的电源上，希望电动机的转速仍为 720r/min 左右时，则电动机的极数 $2p$ 应取 8，这时其同步转速 n'_s 为 750r/min。改极时，要考虑定子和转子的槽配合问题。

（2）当改变频率提高转速时，要校验电动机转子线速度 v（m/s）能否适应新的运行条件。

$$v = \frac{\pi D_2 n_s}{60}$$

式中 D_2——转子外径，m；

n_s——同步转速，r/min。

笼型转子的线速度 v 不应大于 40m/s；绕线转子的线速度 v 不应大于 30m/s。

(3) 当改变频率提高转速时，由于电机通风冷却效果增强，因此重绕时的电流密度可提高 10% ~ 15%，同理电动机的输出功率将增大。

(4) 当改变频率降低转速时，由于电动机通风冷却效果变差，计算出来的输出功率应适当减小。

(5) 当过分提高频率（如由 50Hz 提高到 200Hz 以上）时，由于电动机的铁损耗和机械损耗等均增加，致使电动机的效率降低，故计算出来的输出功率应适当降低 15% ~ 30%。

(6) 当过分降低频率（如由 50Hz 降低到 20Hz 以下）时，应对简易计算公式进行修正。例如在计算时，可适当减少一些匝数或提高一些电压。

二、恒转矩变频重绕的简易计算

在进行恒转矩变频重绕时，应保持原电动机的绕组形式、并绕根数 n、并联支路数 a 和接法不变，其计算方法如下：

(1) 当电动机的极数不变时，改变电源电压和电源频率的每槽导体数的计算公式为

$$N' = N\frac{U'_1 f_1}{U_1 f'_1}$$

式中 U_1、f_1、N——改绕前的电源电压（V）、电源频率（Hz）和电动机的每槽导体数；

U'_1、f'_1、N'——改绕后的电源电压（V）、电源频率（Hz）和电动机的每槽导体数。

(2) 当电源电压不变时，改变电动机的极数和电源频率的每槽导体数的计算公式为

$$N' = N\frac{f_1}{f'_1}\sqrt{\frac{p'}{p}}$$

式中 p、p'——改绕前、后电动机的极对数。

(3) 当电源电压和电动机的极数均不变时，改变电频率的每槽导体数的计算公式为

$$N' = N\frac{f_1}{f'_1}$$

恒转矩变频重绕时，常用的简易计算公式见表 11－4。

表 11－4　　常用的变频简易计算公式表

计算项目 / 改频条件	每槽导体数 N	导线截面积 A (mm²) 或导线直径 d (mm)	输出功率 P_2 (kW) 或电机转矩 T (N·m)	同步转速 n_s (r/min)	改频后的电机电流 I_1 (A)
保持电源电压、极数和转矩不变	$N' = N\frac{f_1}{f'_1}$	$A' = A\frac{f'_1}{f'_1}$ 或 $d' = d\sqrt{\frac{f'_1}{f_1}}$	$P'_2 = P_2\frac{f'_1\cos\varphi'\eta'}{f_1\cos\varphi\eta}$	$n'_s = n_s\frac{f'_1}{f_1}$ 或 $n'_s = \frac{60f'_1}{P'}$	$I'_1 = I_1\frac{f_1}{f_1}$
保持电源电压、极数和输出功率不变	或 $N' = N\sqrt{\frac{f_1}{f'_1}}$	$A' = A\sqrt{\frac{f'_1}{f_1}}$ 或 $d' = d\sqrt[4]{\frac{f'_1}{f_1}}$	$T' = T\frac{f_1}{f'_1}$		$I'_1 = I_1$

【例 11－5】　有一台三相异步电动机，铭牌数据为：额定功率 $P_N = 22\text{kW}$，极数 $2p = 4$，额定电压 $U_N = 380\text{V}$，额定频率 $f_N = 50\text{Hz}$，额定电流 $I_N = 42.3\text{A}$，额定功率因数 $\cos\varphi_N = 0.86$，额定效率 $\eta_N = 91.5\%$。原绕组数据为：导线直径 $d = 1.3\text{mm}$，并绕根数 $n = 2$，每槽导体数 $N = 28$，并联支路数 $a = 2$，三角形连接，双层叠绕组。转子外径 $D_2 = 186\text{mm}$。要求将该电动机定子绕组重绕后使用在 60Hz 的电源上，并希望改绕后电源电压、电动机的极数和转矩 T 不变。

解　在改频重绕时，保持原来的绕组形式、并绕根数、并联支路数和接法不变。其计算方法如下：

(1) 改频后每槽体数为

$$N' = N\frac{f_1}{f'_1} = 28 \times \frac{50}{60} = 23.33(\text{根}/\text{槽})$$

因为是双层绕组，所以取 $N' = 24$ 根/槽。

(2) 导线直径为

$$d' = d\sqrt{\frac{f'_1}{f_1}} = 1.3 \times \sqrt{\frac{60}{50}} = 1.424(\text{mm})$$

查电磁线常用数据表，取 $d' = 1.40\text{mm}$，2 根并绕。

(3) 改频后的输出功率为

$$P'_2 = P_2\frac{f'_1}{f_1} = 22 \times \frac{60}{50} = 26.4(\text{kW})$$

按此功率查阅产品样本，按相应的电动机得到 $\cos\varphi' = 0.87$，$\eta' = 92\%$，于是得到改频后的电动机输出功率为

$$P'_2 = P_2\frac{f'_1\cos\varphi'\eta'}{f_1\cos\varphi\eta} = 22 \times \frac{60 \times 0.87 \times 0.92}{50 \times 0.86 \times 0.915} = 26.85(\text{kW})$$

(4) 改频后电动机的定子电流为

$$I'_1 = I_1\frac{f'_1}{f_1} = 42.3 \times \frac{60}{50} = 50.76(\text{A})$$

(5) 改频前电动机的同步转速 $n_s = \dfrac{60f_1}{p} = \dfrac{60 \times 50}{2} = 1500$ (r/min)

改频后电动机的同步转速为

$$n'_s = n_s\frac{f'_1}{f_1} = 1500 \times \frac{60}{50} = 1800(\text{r/min})$$

(6) 校验转子线速度为

$$v = \frac{\pi D_2 n_s}{60} = \frac{\pi \times 0.186 \times 1800}{60} = 17.53(\text{m/s})$$

此值小于40m/s，说明可以改频。

综上所述，改频后电动机参数如下：功率 $P'_N = 26.85kW$，电压 $U'_N = 380V$，电流 $I'_N = 50.76A$，并联支路数 $a = 2$，三角形连接，功率因数近似为0.87，效率近似为92%，频率为60Hz，同步转速为1800r/min，极数为4。

重绕时数据如下：导线直径 $d = 1.40mm$，并绕极数 $n' = 2$，绕组形式为双层叠绕组，每槽导体数 $N' = 24$ 根。

三、恒功率变频重绕的简易计算

在进行恒功率变频重绕时，也应保持原电动机的绕组形式、并绕根数 n、并联支路数 a 和接法不变。其计算方法如下：

(1) 当电动机的极数保持不变时，改变电源频率和电源电压的每槽导体数计算公式为

$$N' = N\frac{U'_1}{U_1}\sqrt{\frac{f_1}{f'_1}}$$

式中 U_1、f_1、N——改绕前的电源电压（V）、电源频率（Hz）和电动机的每槽导体数；

U'_1、f'_1、N'——改绕后的电源电压（V）、电源频率（Hz）和电动机的每槽导体数。

(2) 当电源电压保持不变时，改变电源频率和电动机极数的每槽导体数计算公式为

$$N' = N\sqrt{\frac{p'}{p}}\sqrt{\frac{f_1}{f'_1}}$$

式中 p、p'——改绕前、后电动机的极对数。

(3) 当电源电压和电动机的极数均不变时，改变电源频率的每槽导体数计算公式为

$$N' = N\sqrt{\frac{f_1}{f'_1}}$$

恒功率变频重绕时，常用的简易计算公式见表11－4。

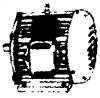
四、常用的 50Hz 和 60Hz 变频重绕计算公式

常用的 50Hz 和 60Hz 变频重绕计算公式，见表 11－5。

表 11－5　　50Hz 和 60Hz 变频重绕计算公式表

改频条件 \ 计算项目		每槽导体数 N	导线截面积 A（mm^2）或导线直径 d（mm）	输出功率 P_2（kW）或电机转矩 T（N·m）	同步转速 n_s（r/min）	改频后的电流 I_1（A）
保持电源电压、极数和转矩不变	计算公式	$N' = N\dfrac{f_1}{f'_1}$	$A' = A\dfrac{f'_1}{f'_1}$ $d' = d\sqrt{\dfrac{f'_1}{f_1}}$	$P'_2 = P_2\dfrac{f'_1\cos\varphi'\eta'}{f_1\cos\varphi\eta}$	$n'_s = n_1\dfrac{f'_1}{f_1}$	$I'_1 = I_1\dfrac{f'_1}{f_1}$
	举例	60Hz 改 50Hz 时 $N' = 1.2N$ 50Hz 改 60Hz 时 $N' = 0.83N$	60Hz 改 50Hz 时 $A' = 0.83A$ $d' = 0.913d$ 50Hz 改 60Hz 时 $A' = 1.2A$ $d' = 1.095d$	60Hz 改 50Hz 时 $P'_2 = 0.83P_2$ 50Hz 改 60Hz 时 $P'_2 = 1.2P_2$ （设 $\cos\varphi$ 和 η 不变）	60Hz 改 50Hz 时 $n'_s = 0.83n_s$ 50Hz 改 60Hz 时 $n'_s = 1.2n_s$	60Hz 改 50Hz 时 $I'_1 = 0.83I_1$ 50Hz 改 60Hz 时 $I'_1 = 1.2I_1$
保持电源电压、极数和输出功率不变	计算公式	$N' = N\sqrt{\dfrac{f_1}{f'_1}}$	$A' = A\sqrt{\dfrac{f'_1}{f_1}}$ $d' = d\sqrt[4]{\dfrac{f'_1}{f_1}}$	$T' = \dfrac{f_1}{f'_1}T$	$n'_s = n_s\dfrac{f'_1}{f_1}$	$I'_1 = I_1$
	举例	60Hz 改 50Hz 时 $N' = 1.095N$ 50Hz 改 60Hz 时 $N' = 0.913N$	60Hz 改 50Hz 时 $A' = 0.913A$ $d' = 0.955d$ 50Hz 改 60Hz 时 $A' = 1.095A$ $d' = 1.047d$	60Hz 50Hz 时 $T' = 1.2T$ 50Hz 改 60Hz 时 $T' = 0.83T$	60Hz 改 50Hz 时 $n'_s = 0.83n_s$ 50Hz 改 60Hz 时 $n'_s = 1.2n_s$	电流基本不变

附录



附录A　常用导电材料

1. 常用电磁线的型号和名称（见表A－1）

表A－1　　常用电磁线的型号和名称

型　　号	名　　称
Q	油基性漆包圆铜线
QQ	高强度聚乙烯醇缩醛漆包圆铜线
QZ	高强度聚酯漆包圆铜线
QST	单丝（天然丝）漆包线
QSR	单人丝（人造丝）漆包线
QM	单纱漆包线
QME	双纱漆包线
M	单纱包圆线
ME	双纱包圆线
QQSBC	单玻璃丝包高强度漆包圆铜线
SBEC	双玻璃丝包圆铜线
QY	耐高温聚酰亚胺漆包圆铜线
QXY	耐高温聚酰胺－亚胺漆包圆铜线
QQS	彩色高强度聚乙烯醇缩醛漆包圆铜线
QNF	耐冷冻剂漆包圆铜线
QYN	漆包铜芯聚乙烯绝缘尼龙护套线
SYN	绞合铜芯聚乙烯绝缘尼龙护套线

2. 漆包圆铜线常用数据表（见表 A－2）

表 A－2　　漆包圆铜线常用数据表

裸导线标称直径(mm)	允许公差(mm)	裸导线截面积(mm^2)	直流电阻计算值(20℃)(Ω/km)	漆包线最大外径(mm)		单位长度漆包线的近似重量(kg/km)	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
0.020	±0.002	0.00031	55587		0.035		
0.025		0.00049	35574		0.040		
0.030	±0.003	0.00071	24704		0.045		
0.040		0.00126	13920		0.055		
0.050		0.00196	8949	0.065	0.065	0.019	0.022
0.060		0.00283	6198	0.075	0.090	0.027	0.029
0.070		0.00385	4556	0.085	0.100	0.036	0.039
0.080		0.00503	3487	0.095	0.110	0.047	0.050
0.090		0.00636	2758	0.105	0.120	0.059	0.063
0.100	±0.005	0.00785	2237	0.120	0.130	0.073	0.076
0.110		0.00950	1846	0.130	0.140	0.088	0.092
0.120		0.01131	1551	0.140	0.150	0.104	0.108
0.130		0.01327	1322	0.150	0.160	0.122	0.126
0.140		0.01539	1139	0.160	0.170	0.141	0.145
0.150		0.01767	993	0.170	0.190	0.162	0.167
0.160		0.0201	872	0.180	0.200	0.184	0.189
0.170		0.0227	773	0.190	0.210	0.208	0.213
0.180		0.0255	689	0.200	0.220	0.233	0.237
0.190		0.0284	618	0.210	0.230	0.259	0.264
0.200		0.0314	558	0.225	0.240	0.287	0.292
0.210		0.0346	506	0.235	0.250	0.316	0.321
0.230		0.0415	422	0.255	0.280	0.378	0.386
0.250		0.0491	357	0.275	0.300	0.446	0.454

续表

裸导线标称直径(mm)	允许公差(mm)	裸导线截面积(mm^2)	直流电阻计算值(20℃)(Ω/km)	漆包线最大外径(mm)		单位长度漆包线的近似重量(kg/km)	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
0.27	±0.010	0.0573	306	0.31	0.32	0.522	0.529
0.29		0.0661	265	0.33	0.34	0.601	0.608
0.31		0.0755	232	0.35	0.36	0.689	0.693
0.33		0.0855	205	0.37	0.38	0.780	0.784
0.35		0.0962	182	0.39	0.41	0.876	0.884
0.38		0.1134	155	0.42	0.44	1.03	1.04
0.41		0.1320	133	0.45	0.47	1.20	1.21
0.44		0.1521	115	0.49	0.50	1.38	1.39
0.47		0.1735	101	0.52	0.53	1.57	1.58
0.49		0.1886	93	0.54	0.55	1.71	1.72
0.51		0.204	85.9	0.56	0.58	1.86	1.87
0.53		0.221	79.5	0.58	0.60	2.00	2.02
0.55		0.238	73.7	0.60	0.62	2.16	2.17
0.57		0.255	68.7	0.62	0.64	2.32	2.34
0.59		0.273	64.1	0.64	0.66	2.48	2.50
0.62		0.302	58.0	0.67	0.69	2.73	2.76
0.64		0.322	54.5	0.69	0.72	2.91	2.94
0.67		0.353	49.7	0.72	0.75	3.19	3.21
0.69		0.374	46.9	0.74	0.77	3.38	3.41
0.72	±0.015	0.407	43.0	0.78	0.80	3.67	3.70
0.74		0.430	40.7	0.80	0.83	3.89	3.92
0.77		0.466	37.6	0.83	0.86	4.21	4.24
0.80		0.503	34.8	0.86	0.89	4.55	4.58
0.83		0.541	32.4	0.89	0.92	4.89	4.92
0.86		0.581	30.1	0.92	0.95	5.25	5.27
0.90		0.636	27.5	0.96	0.99	5.75	5.78
0.93		0.679	25.8	0.99	1.02	6.13	6.16
0.96		0.724	24.2	1.02	1.05	6.53	6.56
1.00		0.785	22.4	1.07	1.11	7.10	7.14

续表

裸导线标称直径(mm)	允许公差(mm)	裸导线截面积(mm^2)	直流电阻计算值(20℃)(Ω/km)	漆包线最大外径(mm)		单位长度漆包线的近似重量(kg/km)	
				Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS	Q	QZ、QQ、QY、QXY、QQS
1.04	±0.020	0.850	20.6	1.12	1.15	7.67	7.72
1.08		0.916	19.1	1.16	1.19	8.27	8.32
1.12		0.985	17.8	1.20	1.23	8.89	8.94
1.16		1.057	16.6	1.24	1.27	9.53	9.59
1.20		1.131	15.5	1.28	1.31	10.2	10.4
1.25		1.227	14.3	1.33	1.36	11.1	11.2
1.30		1.327	13.2	1.38	1.41	12.0	12.1
1.35		1.431	12.3	1.43	1.46	12.9	13.0
1.40		1.539	11.3	1.48	1.51	13.9	14.0
1.45		1.651	10.6	1.53	1.56	14.9	15.0
1.50		1.767	9.93	1.58	1.61	15.9	16.0
1.56		1.911	9.17	1.64	1.67	17.2	17.3
1.62		2.06	8.50	1.71	1.73	18.5	18.6
1.68	±0.025	2.22	7.91	1.77	1.79	19.9	20.0
1.74		2.38	7.37	1.83	1.85	21.4	21.4
1.81		2.57	6.81	1.90	1.93	23.1	23.3
1.88		2.78	6.31	1.97	2.00	25.0	25.2
1.95		2.99	5.87	2.04	2.07	26.8	27.0
2.02		3.21	5.47	2.12	2.14	28.9	29.0
2.10		3.46	5.06	2.20	2.23	31.2	31.3
2.26	±0.030	4.01	4.37	2.36	2.39	36.2	36.3
2.44		4.68	3.75	2.54	2.57	42.1	42.2

附录B 常用绝缘材料

1. 绝缘材料的耐热等级（见表 B－1）

表 B－1　　绝缘材料的耐热等级

级　别	绝　缘　材　料	极限工作温度（℃）
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品，以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品，以及易于热分解和熔化点较低的塑料（脲醛树脂）	90
A	工作于矿物油中的和用油或油树脂复合胶浸过的Y级材料、漆包线、漆布、漆丝及油性漆、沥青漆等	105
E	聚脂薄膜和A级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线	120
B	聚脂薄膜，经合适树脂浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉等制品、聚酯漆、聚脂漆包线	130
F	以有机纤维材料补强和石棉带补强的云母片制品、玻璃丝和石棉、玻璃漆布、以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品，以无机材料作补强和石棉带补强的云母粉制品、化学热稳定性较好的聚脂和醇酸类材料、复合硅有机聚脂漆	155
H	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的F级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等	180
C	耐高温有机粘合剂和浸渍剂及无机物如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	180以上

2. 常用绝缘漆布的品种、性能和用途（见表 B－2）

表 B－2　　常用绝缘漆布的品种、性能和用途

名　称	型　号	耐热等级	特性和用途
油性漆布 （黄漆布）	2010 2012	A	2010 柔软性好，但不耐油。可用于一般电机、电器的衬垫或线圈绝缘。2012 耐油性好，可用于在变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器中作衬垫或线圈绝缘
油性漆绸 （黄漆绸）	2210 2212	A	具有较好的电气性能和良好的柔软性。2210 适用于电机、电器薄层衬垫或线圈绝缘；2212 耐油性好，适用于在变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器中作薄层衬垫或线圈绝缘
油性玻璃漆布 （黄玻璃漆布）	2412	E	耐潮性较 2010、2012 漆布好。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘，以及在油中工作的变压器、电器的衬垫和线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布 （黑玻璃漆布）	2430	B	耐热性较好，但耐苯和耐变压器油性差，适用于一般电机、电器的线圈绝缘
醇酸玻璃漆布	2432	B	耐油性较好，并具有一定的防霉性。可用作油浸变压器、油断路器等线圈绝缘
醇酸玻璃—聚脂交织漆布	2432－1		
环氧玻璃漆布	2433	B	具有良好的耐化学药品腐蚀性，良好的耐湿热性和较高的机械性能和电气性能，适用于化工电机、电器槽、衬垫和线圈绝缘
环氧玻璃—聚酯交织漆布	2433－1		
有机硅玻璃漆布	2450	H	具有较高的耐热性，良好的柔软性，耐霉、耐油和耐寒性好。适用于 H 级电机、电器的衬垫和线圈绝缘

3. 电工常用薄膜的性能和用途（见表 B－3）

表 B－3　　电工常用薄膜的性能和用途

名　称	常态击穿强度（kV/mm）	耐热等级	厚度（mm）	用　途
聚丙烯薄膜	＞150	—	0.006～0.02	电容器介质
聚酯薄膜	＞130	E	0.006～0.10	低压电机、电器线圈匝间、端部包扎、衬垫、电磁线绕包、E 级电机槽绝缘和电容器介质
聚萘酯薄膜	＞210	F	0.02～0.10	F 级电机槽绝缘，导线绕包绝缘和线圈端部绝缘
芳香族聚酰胺薄膜	90～130	H	0.03～0.06	E、H 级电机槽绝缘
聚酰亚胺薄膜	100～130	C	0.03～0.06	H 级电机、微电机槽绝缘，电机、电器绕组和起重电磁铁外包绝缘以及导线绕包绝缘

4. 电工常用粘带的特性和用途（见表 B－4）

表 B－4　　电工常用粘带的特性和用途

名　称	常态击穿强度（kV/mm）	厚　度（mm）	用　途
聚乙烯薄膜粘带	＞30	0.22～0.26	有一定的电气性能和机械性能，柔软性好，粘接力较强，但耐热性低于 Y 级，可用于一般电线接头包扎绝缘
聚乙烯薄膜纸粘带	＞10	0.10	包扎服贴，使用方便，可代替黑胶布带作电线接头包扎绝缘
聚氯乙烯薄膜粘带	＞10	0.14～0.19	有一定的电气性能和机械性能，较柔软，粘接力强，但耐热性低于 Y 级。供作电压为 500～6000V 电线接头包扎绝缘
聚酯薄膜粘带	＞100	0.055～0.17	耐热性较好，机械强度高。可用于半导体元件密封绝缘和电机线圈绝缘

续表

名　称	常态击穿强度（kV/mm）	厚　度（mm）	用　　途
环氧玻璃粘带	>6[①]	0.17	具有较高的电气性能和机械性能。可作变压器铁心绑扎材料、属B级绝缘
有机硅玻璃粘带	>0.6[①]	0.15	有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性，以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线连接绝缘
硅橡胶玻璃粘带	3~5[①]		有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性，以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线连接绝缘，但柔软性较好

① 击穿电压（kV）。

5. 电工常用复合制品的性能和用途（见表B-5）

表B-5　　电工常用复合制品的性能和用途

名　称	型号或代号	厚度（mm）	耐热等级	常态击穿电压（平均值，kV）	用　　途
聚脂薄膜绝缘纸复合箔	6520	0.15~0.30	E	6.5~12	用于E级电机槽绝缘、端部层间绝缘
聚酯薄膜玻璃漆布复合箔	6530	0.17~0.24	B	8~12	用于B级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘。可用于湿热地区
聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔	DMD	0.20~0.25	B	10~12	用于B级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘。可用于湿热地区

续表

名　称	型号或代号	厚度（mm）	耐热等级	常态击穿电压（平均值，kV）	用　途
聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NMN	0.25～0.30	F	12～15	用于F级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘
聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NHN	0.25～0.30	H	7～12	用于F级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘，但适用于H级电机

6. 电工常用绝缘漆管主要性能及有关参数（见表B－6）

表B－6　　电工常用绝缘漆管主要性能及有关参数

型号、名称	耐压等级	规格（mm）		壁厚（mm）		组成材料	
		标准内径	公差	标准壁厚	公差	底材	浸渍物
2730醇酸玻璃漆管	B	1、1.5	+0.2 −0.1	0.4	±0.10	无碱玻璃丝管	醇酸清漆
		2、2.5、3、3.5	+0.3 −0.1	0.5	±0.15		
		4、5、6	+0.4 −0.2	0.6	±0.20		
		7、8、9	+0.5 −0.3	0.7	±0.20		
		10、12、14、16	+0.8 −0.5	0.8	±0.20		
		18、20、22、25、27	±1.0	1.0	±0.30		

续表

型号、名称	耐压等级	规格（mm）		壁厚（mm）		组成材料	
		标准内径	公差	标准壁厚	公差	底材	浸渍物
2731 聚氯乙烯玻璃漆管	E（B）	1、1.5	+0.2 −0.1	0.4	±0.10	无碱玻璃丝管	聚氯乙烯树脂
		2、2.5、3、3.5	+0.3 −0.1	0.5	±0.15		
		4、5、6	+0.4 −0.2	0.6	±0.2		
		7、8、9	+0.5 −0.3	0.7	±0.2		
		10、12、14、16	+0.8 −0.5	0.8	±0.2		
		18、20、22、25、27	±1.0	1.0	±0.3		
2750 有机硅玻璃漆管	H	1、1.5	+0.2 −0.1	0.3	±0.10	无碱玻璃丝管	有机硅漆
		2、2.5、3、3.5	+0.3 −0.1	0.4	±0.15		
		4、5、6	+0.4 −0.2	0.5	±0.15		
		7、8、9	+0.5 −0.3	0.6	±0.20		
		10、12、14、16	+0.8 −0.5	0.7	±0.20		

附录C 常用辅助材料

1. 电机常用引接线的型号与规格（见表C-1）

表C-1 电机常用引接线的型号与规格

产品名称	型 号	额定电压（V）	连续运行导体最高温度（℃）	截面积（mm^2）
铜芯聚氯乙烯绝缘电机绕组引接电缆（电线）	JV	500	70	0.12～50
铜芯丁腈聚氯乙烯复合物绝缘电机绕组引接电缆（电线）	JF（JBF）			
铜芯橡皮绝缘丁腈护套电机绕组引接电缆（电线）	JXN（JBQ）	500 1000 3000 6000	70	0.5～120 0.5～120 2.5～120 2.5～120
铜芯橡皮绝缘氯丁腈护套电机绕组引接电缆（电线）	JXF（JBHF）			
铜芯乙丙橡皮绝缘电机绕组引接电缆（电线）	JE（JFE）	500 1000 3000 6000	90	0.2～10 0.2～240 2.5～240 16～240
铜芯乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套电机绕组引接电缆（电线）	JEH（JFEH）	500 1000 3000 6000	90	0.2～120 0.5～120 2.5～120 16～240
铜芯乙丙橡皮绝缘氯醚护套电机绕组引接电缆（电线）	JEM（JFEM）			
铜芯氯磺化聚乙烯绝缘电机绕组引接电缆（电线）	JH（JBYH）	500 1000 3000	90	0.2～10 0.2～240 2.5～240
铜芯硅橡皮绝缘电机绕组引接电缆（电线）	JG（JHG）	500 1000	180	0.75～95 0.75～95

* 括号中的型号为老标准的型号。

2. 三相异步电动机引接线选用表（见表 C－2）

表 C－2　　三相异步电动机引接线选用表

额定功率（kW）	额定电流（A）	截面积（mm^2）	采用引出线的规格（线股/mm）
0.35 以下	1.2 以下	0.3	16/0.15
0.6～1.1	1.6～2.7	0.7～0.8	40/0.15，19/0.23
1.5～2.2	3.6～5	1～1.2	7/0.43，19/0.26、32/0.2，38/0.2，40/0.19
2.8～4.5	6～10	1.7～2	32/0.26，37/0.26，40/0.25
5.5～7	11～15	2.5～3	19/0.41，48/0.26，56/0.26，7/0.7
7.5～10	15～20	4～5	49/0.32，19/0.52，63/0.32，7/0.9
13～20	25～40	10	19/0.82，7/1.33
22～30	44～57	15	49/0.64，133/39
40	77	23～25	19/1.28，98/0.58
55～75	105～145	35～40	19/1.51，19/1.68，133/0.58

3. 槽楔及垫条常用材料（见表 C－3）

表 C－3　　槽楔及垫条常用材料

耐热等级	槽绝缘及垫条的材料名称、型号、长度	槽楔推力（N）
A	竹（经油煮处理）、红钢纸、电工纸板（比槽绝缘短 2～3mm）	155
E	酚醛层压板 3020、3021、3022、3023；酚醛层压板 3025、3027（比槽绝缘短 2～3mm）	200
B	酚醛层压玻璃布板 3230、3231（比槽绝缘短 4～6mm）；MDB 复合槽楔（长度等于槽绝缘）	244
F	环氧酚醛玻璃布板 3240（比槽绝缘短 4～6mm），MDB 复合槽楔（等于槽绝缘长度）	247
H	有机硅环氧层压玻璃布板 3250 有机硅层压玻璃布板 3251 聚二苯醚层压玻璃布板 9330（比槽绝缘短 4～6mm）	247

1. Y 系列（IP44）三相异步电动机技术数据（见表 D－1）

表 D－1　　Y 系列（IP44）小型三相异步电动机

型　号	额定功率（kW）	额定时				堵转电流/额定电流（倍）	堵转转矩/额定转矩（倍）	最大转矩/额定转矩（倍）	铁心长度（mm）
		定子电流（A）	转速（r/min）	效率（%）	功率因数				
Y801－2	0.75	1.8	2830	75	0.84	7	2.2	2.2	65
Y802－2	1.1	2.5	2830	77	0.86	7	2.2	2.2	80
Y801－4	0.55	1.5	1390	73	0.76	6.5	2.2	2.2	65
Y802－4	0.75	2.0	1390	74.5	0.76	6.5	2.2	2.2	80
Y90S－2	1.5	3.4	2840	78	0.85	7	2.2	2.2	85
Y90L－2	2.2	4.7	2840	82	0.86	7	2.2	2.2	110
Y90S－4	1.1	2.8	1400	78	0.78	6.5	2.2	2.2	90
Y90L－4	1.5	3.7	1400	79	0.79	6.5	2.2	2.2	120
Y90S－6	0.75	2.3	910	72.5	0.70	6	2.0	2.0	100
Y90L－6	1.1	3.2	910	73.5	0.72	6	2.0	2.0	125
Y100L－2	3.0	6.4	2870	82	0.87	7	2.0	2.0	100
$Y100L_1$－4	2.2	5.0	1430	81	0.82	7	2.2	2.2	105
$Y100L_2$－4	3.0	6.8	1430	82.5	0.81	7	2.2	2.2	135
Y100L－6	1.5	4.0	940	77.5	0.74	6	2.0	2.0	100
Y112M－2	4.0	8.2	2890	85.5	0.87	7	2.2	2.2	105
Y112M－4	4.0	8.8	1440	84.5	0.82	7	2.2	2.2	135
Y112M－6	2.2	5.6	940	80.5	0.74	6	2.0	2.0	110
$Y132S_1$－2	5.5	11	2900	85.5	0.88	7	2.0	2.2	105
$Y132S_2$－2	7.5	15	2900	86.2	0.88	7	2.0	2.2	125

技术数据（380V 50Hz）

气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	每槽线数	并联支路数与接法	定子线规 (根－mm)	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($kg \cdot m^2$)	重量 (kg)
0.3	120	67	111	1 Y	1－0.63	单层交叉	1－9,2－10	18/16	0.00075	16
0.3	120	67	90	1 Y	1－0.71		11－18	18/16	0.00090	17
0.25	120	75	128	1 Y	1－0.56	单层链式	1－6	24/22	0.0018	17
0.25	120	75	103	1 Y	1－0.63			24/22	0.0021	18
0.35	130	72	77	1 Y	1－0.8	单层交叉	1－9,2－10	18/16	0.0012	22
0.35	130	72	58	1 Y	1－0.95		11－18	18/16	0.0014	25
0.25	130	80	81	1 Y	1－0.71	单层链式	1－6	24/22	0.0021	22
0.25	130	80	63	1 Y	1－0.8			24/22	0.0027	27
0.25	130	86	77	1 Y	1－0.67	单层链式	1－6	36/33	0.0029	23
0.25	130	86	60	1 Y	1－0.75			36/33	0.0035	25
0.4	155	84	40	1 Y	1－1.18	单层同心	1－12 2－11	24/20	0.0029	33
0.3	155	98	41	1 Y	2－0.71	单层交叉	1－9,2－10	36/32	0.0054	34
0.3	155	98	31	1 Y	1－1.18		11－18	36/32	0.0067	38
0.25	155	106	53	1 Y	1－0.85	单层链式	1－6	36/33	0.0069	33
0.45	175	98	48	1 △	1－1.06	单层同心	1－16 2－15 3－14 1－14 2－13	30/26	0.0055	45
0.3	175	110	46	1 △	1－1.06	单层交叉	1－9 2－10 11－18	36/32	0.0095	43
0.3	175	120	44	1 Y	1－1.06	单层链式	1－6	36/33	0.0138	45
0.55	210	116	44	1 △	1－0.9 1－0.95	单层同心	1－16 2－15 3－14 1－14 2－13	30/26	0.0109	64
0.55	210	116	37	1 △	1－1.0 1－1.06			30/26	0.0126	70

型　号	额定功率（kW）	额　定　时				堵转电流/额定电流（倍）	堵转转矩/额定转矩（倍）	最大转矩/额定转矩（倍）	铁心长度（mm）
		定子电流（A）	转速（r/min）	效率（%）	功率因数				
Y132S－4	5.5	12	1440	85.5	0.84	7	2.2	2.2	115
Y132M－4	7.5	15	1440	87	0.85	7	2.2	2.2	160
Y132S－6	3.0	7.2	960	83	0.76	6.5	2.0	2.0	110
$Y132M_1-6$	4.0	9.4	960	84	0.77	6.5	2.0	2.0	140
$Y132M_2-6$	5.5	13	960	85.3	0.78	6.5	2.0	2.0	180
Y132S－8	2.2	5.8	710	81	0.71	5.5	2.0	2.0	110
Y132M－8	3.0	7.7	710	82	0.72	5.5	2.0	2.0	140
$Y160M_1-2$	11	22	2930	87.2	0.88	7	2.0	2.2	125
$Y160M_2-2$	15	29	2930	88.2	0.88	7	2.0	2.2	155
Y160L－2	18.5	36	2930	89	0.89	7	2.0	2.2	195
Y160M－4	11	23	1460	88	0.84	7	2.2	2.2	155
Y160L－4	15	30	1460	88.5	0.85	7	2.2	2.2	195
Y160M－6	7.5	17	970	86	0.78	6.5	2.0	2.0	145
Y160L－6	11	25	970	87	0.78	6.5	2.0	2.0	195
$Y160M_1-8$	4.0	9.9	720	84	0.73	6	2.0	2.0	110
$Y160M_2-8$	5.5	13	720	85	0.74	6	2.0	2.0	145
Y160L－8	7.5	18	720	86	0.75	5.5	2.0	2.0	195

续表

气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	每槽线数	并联支路数与接法	定子线规 (根－mm)	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($kg \cdot m^2$)	重量 (kg)
0.4	210	136	47	1 △	1－0.9 1－0.95	单层交叉	1－9 2－10 11－18	36/32	0.0214	68
0.4	210	136	35	1 △	2－1.06			36/32	0.0296	81
0.35	210	148	38	1 Y	1－0.85 1－0.9	单层链式	1－6	36/33	0.0286	63
0.35	210	148	52	1 △	1－1.06			36/33	0.0357	73
0.35	210	148	42	1 △	1－1.25			36/33	0.0449	84
0.35	210	148	39	1 Y	1－1.12			48/44	0.0314	63
0.35	210	148	31	1 Y	1－1.30			48/44	0.0395	79
0.65	260	150	28	1 △	2－1.18 1－1.25	单层同心	1－16 2－15 3－14 1－14 2－13	30/26	0.0377	117
0.65	260	150	23	1 △	2－1.12 2－1.18			30/26	0.0449	125
0.65	260	150	19	1 △	3－1.12 2－1.18			30/26	0.0550	147
0.5	260	170	56	2 △	1－1.30	单层交叉	1－9 2－10 11－18	36/26	0.0747	123
0.5	260	170	22	1 △	2－1.25 1－1.18			36/26	0.0918	144
0.4	260	180	38	1 △	2－1.12	单层链式	1－6	36/33	0.0881	119
0.4	260	180	28	1 △	4 0.95			36/33	0.116	147
0.4	260	180	49	1 △	1－1.25	单层链式	1－6	48/44	0.0753	118
0.4	260	180	39	1 △	2－1.0			48/44	0.9311	119
0.4	260	180	30	1 △	1－1.12 1－1.18			48/44	0.126	145

型　号	额定功率（kW）	额　定　时				堵转电流/额定电流（倍）	堵转转矩/额定转矩（倍）	最大转矩/额定转矩（倍）	铁心长度（mm）
		定子电流（A）	转速（r/min）	效率（%）	功率因数				
Y180M－2	22	42	2940	89	0.89	7	2.0	2.2	175
Y180M－4	18.5	36	1470	91	0.86	7	2.0	2.2	190
Y180L－4	22	43	1470	91.5	0.86	7	2.0	2.2	220
Y180L－6	15	31	970	89.5	0.81	6.5	1.8	2.0	200
Y180L－8	11	25	730	86.5	0.77	6	1.7	2.0	200
$Y200L_1-2$	30	57	2950	90	0.89	7	2.0	2.2	180
$Y200L_2-2$	37	70	2950	90.5	0.89	7	2.0	2.2	210
Y200L－4	30	57	1470	92.2	0.87	7	2.0	2.2	230
$Y200L_1-6$	18.5	38	970	89.8	0.83	6.5	1.8	2.0	195
$Y200L_2-6$	22	45	970	90.2	0.83	6.5	1.8	2.0	220
Y200L－8	15	34	730	88	0.76	6	1.8	2.0	195
Y225M－2	45	84	2970	91.5	0.89	7	2.0	2.2	210
Y225S－4	37	70	1480	91.8	0.87	7	1.9	2.2	200
Y225M－4	45	84	1480	92.3	0.88	7	1.9	2.2	235
Y225M－6	30	60	980	90.2	0.85	6.5	1.7	2.0	210
Y225S－8	18.5	41	730	89.5	0.76	6	1.7	2.0	170
Y225M－8	22	48	740	90	0.78	6	1.8	2.0	210

续表

气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	每槽线数	并联支路数与接法	定子线规 (根－mm)	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($kg \cdot m^2$)	重量 (kg)
0.8	290	160	16	1 △	2－1.3 2－1.4	双层叠式	1－14	36/28	0.075	180
0.55	290	187	32	2 △	2－1.18		1－11	48/44	0.139	182
0.55	290	187	28	2 △	2－1.3			48/44	0.158	190
0.45	290	205	34	2 △	1－1.5		1－9	54/44	0.207	195
0.45	290	205	46	2 △	2－0.9		1－7	54/58	0.203	184
1.0	327	182	28	2 △	2－1.12 2－1.18		1－14	36/28	0.124	240
1.0	327	182	24	2 △	1－1.4 2－1.5		1－14	36/28	0.139	255
0.65	327	210	48	4 △	1－1.06 1－1.12		1－11	48/44	0.262	270
0.5	327	230	32	2 △	1－1.12 1－1.18		1－9	54/44	0.315	220
0.5	327	230	28	2 △	2－1.25			54/44	0.360	250
0.5	327	230	38	2 △	1－1.06 1－1.12		1－7	54/58	0.339	250
1.1	368	210	22	2 △	3－1.4 1－1.5		1－14	36/28	0.238	309
0.7	368	245	46	4 △	2－1.25		1－12	48/44	0.406	284
0.7	368	245	40	4 △	1－1.30 1－1.40		1－12	48/44	0.469	320
0.5	368	260	28	2 △	2－1.30 1－1.40		1－9	54/44	0.547	292
0.5	368	260	38	2 △	2 1.40		1－7	54/58	0.491	266
0.5	368	260	32	2 △	2－1.50			54/58	0.547	292

型　号	额定功率(kW)	额定时				堵转电流/额定电流(倍)	堵转转矩/额定转矩(倍)	最大转矩/额定转矩(倍)	铁心长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数				
Y250M－2	55	103	2970	91.5	0.89	7	2.0	2.2	195
Y250M－4	55	103	1480	92.6	0.88	7	2.0	2.2	240
Y250M－6	37	72	980	90.8	0.86	6.5	1.8	2.0	225
Y250M－8	30	63	740	90.5	0.80	6	1.8	2.0	225
Y280S－2	75	140	2970	91.5	0.89	7	2.0	2.2	225
Y280M－2	90	167	2970	92	0.89	7	2.0	2.2	260
Y280S－4	75	140	1480	92.7	0.88	7	1.9	2.2	240
Y280M－4	90	164	1480	93.6	0.89	7	1.9	2.2	325
Y280S－6	45	85	980	92	0.87	6.5	1.8	2.0	215
Y280M－6	55	104	980	92	0.87	6.5	1.8	2.0	260
Y280S－8	37	78	740	91	0.79	6	1.8	2.0	215
Y280M－8	45	93	740	91.7	0.80	6	1.8	2.0	260
Y315S－2	110	200	2980	93	0.90	7	1.8	2.2	290
$Y315M_1$－2	132	237	2980	94	0.90	7	1.8	2.2	340
$Y315M_2$－2	160	286	2980	94.5	0.90	7	1.8	2.2	380
Y315S－4	110	201	1480	93.5	0.89	7	1.8	2.2	300

续表

气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	每槽线数	并联支路数与接法	定子线规 (根－mm)	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($kg \cdot m^2$)	重量 (kg)
1.2	400	225	20	2 △	6－1.40	双层叠式	1－14	36/28	0.312	403
0.8	400	260	36	4 △	3－1.30		1－12	48/44	0.66	427
0.55	400	285	28	3 △	1－1.12 2－1.18			72/58	0.834	408
0.55	400	285	22	2 △	3－1.30		1－9	72/58	0.834	405
1.5	445	255	14	2 △	7－1.50		1－16	42/34	0.597	544
1.5	445	255	12	2 △	8－1.50			42/34	0.675	620
0.9	445	300	26	4 △	2－1.25 2－1.30		1－14	60/50	1.12	562
0.9	445	300	20	4 △	5－1.30		1－14	60/50	1.46	667
0.65	445	325	26	3 △	2－1.30 1－1.40		1－12	72/58	1.39	536
0.65	445	325	22	3 △	1－1.40 2－1.50			72/58	1.65	595
0.65	445	325	40	4 △	2－1.30			72/58	1.39	520
0.65	445	325	34	4 △	1－1.50 1－1.40			72/58	1.65	592
1.8	520	300	9	2 △	10－1.50 4－1.60		1－18	48/40	1.18	980
1.8	520	300	8	2 △	5－1.40 12－1.50			48/40	1.82	1080
1.8	520	300	7	2 △	17－1.60			48/40	2.08	1160
1.1	520	350	16	4 △	3－1.30 4－1.40		1－17	72/64	3.11	1000

型　号	额定功率（kW）	额　定　时				堵转电流额定电流（倍）	堵转转矩额定转矩（倍）	最大转矩额定转矩（倍）	铁心长度（mm）
		定子电流（A）	转速（r/min）	效率（%）	功率因数				
Y315M$_1$－4	132	241	1490	93.5	0.89	7	1.8	2.2	350
Y315M$_2$－4	160	291	1490	94	0.89	7	1.8	2.2	400
Y315S－6	75	141	990	93	0.87	6.5	1.6	2.0	300
Y315M$_1$－6	90	168	990	93.5	0.87	6.5	1.6	2.0	350
Y315M$_2$－6	110	204	990	94	0.87	6.5	1.6	2.0	400
Y315M$_3$－6	132	245	990	94	0.87	6.5	1.6	2.0	455
Y315S－8	55	111	740	92	0.82	6.5	1.6	2.0	300
Y315M$_1$－8	75	150	740	92.5	0.82	6.5	1.6	2.0	350
Y315M$_2$－8	90	179	740	93	0.82	6.5	1.6	2.0	400
Y315M$_3$－8	110	219	740	93	0.82	6.5	1.6	2.0	455
Y315S－10	45	99	590	91	0.76	6.5	1.4	2.0	300
Y315M$_1$－10	55	120	590	91.5	0.76	6.5	1.4	2.0	400
Y315M$_3$－10	75	161	590	92	0.77	6.5	1.4	2.0	455

续表

气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	每槽线数	并联支路数与接法	定子线规 (根－mm)	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($kg \cdot m^2$)	重量 (kg)
1.1	520	350	14	4 △	3－1.30 4－1.50	双层叠式	1－17	72/64	3.62	1100
1.1	520	350	12	4 △	2－1.40 6－1.50			72/64	4.13	1160
0.8	520	375	34	6 △	1－1.40 2－1.50		1－11	72/58	4.11	990
0.8	520	375	30	6 △	1－1.50 2－1.60			72/58	4.78	1080
0.8	520	375	25	6 △	1－1.40 3－1.50			72/58	5.45	1150
0.8	520	375	22	6 △	1－1.50 3－1.60			72/58	6.12	1210
0.8	520	390	14	2 △	7－1.50		1－9	72/58	4.79	1000
0.8	520	390	46	8 △	1－1.50 1－1.60			72/58	5.58	1100
0.8	520	390	20	4 △	4－1.30 2－1.40			72/58	6.37	1160
0.8	520	390	34	8 △	1－1.40 2－1.50			72/58	7.23	1230
0.8	520	390	66	10 △	1－1.12 1－1.18			90/72	4.79	990
0.8	520	390	52	10 △	2－1.30			90/72	6.37	1150
0.8	520	390	22	5 △	2－1.40 2－1.50			90/72	7.15	1220

2. BO2 系列单相电阻起动异步电动机铁心及绕组的技术数据(见表 D－2)

表 D－2　　BO2 系列单相电阻起动异步电动机铁心及绕组的技术数据

型号	额定功率(W)	额定电压(V)	满载时				定子铁心			气隙长度	定子转子槽数 Z_1/Z_2	主绕组			副绕组			堵转电流(A)	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
			电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度			线规 $n-d$(根－mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)	线规 $n-d$(根－mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)			
							(mm)													
DO2－6312	90	220	1.02	2800	56	0.67	96	50	45	0.25	24/18	1－ϕ0.45	436	132	1－0.33	192	132	12	1.5	1.8
BO2－6322	120		1.36		58	0.69			54			1－ϕ0.50	357	141	1－0.35	182	140	14	1.4	
BO2－7112	180		1.89		60	0.72	110	58	50			1－ϕ0.56	297	148.2	1－0.38	167	148.5	17	1.3	
BO2－7122	250		2.40		64	0.74			62			1－ϕ0.63	235	160.2	1－0.40	156	160.6	22	1.1	
BO2－8012	370		3.36		65	0.77	128	67	58			1－ϕ0.71	206	170.4	1－0.45	136	171.3	30		
BO2－6314	60		1.23	1400	39	0.57	96	58	45		24/30	1－ϕ0.42	315	97.3	1－0.31	127	93.5	9	1.7	
BO2－6324	90		1.64		48	0.58			54			1－ϕ0.45	270	166.3	1－0.35	117	103	12	1.5	
BO2－7114	120		1.88		50	0.58	110	67	50			1－ϕ0.53	224	109.4	1－0.33	124	109.4	14		
BO2－7124	180		2.49		53	0.62			62			1－ϕ0.60	183	121.4	1－0.35	102	121.4	17	1.4	
BO2－8014	250		3.11		58	0.63	128	77	58			1－ϕ0.71	158	126.4	1－0.40	104	126.4	22		
BO2－8024	370		4.24		62	0.64			75			1－ϕ0.85	124	143.9	1－0.47	89	143.4	30	1.2	

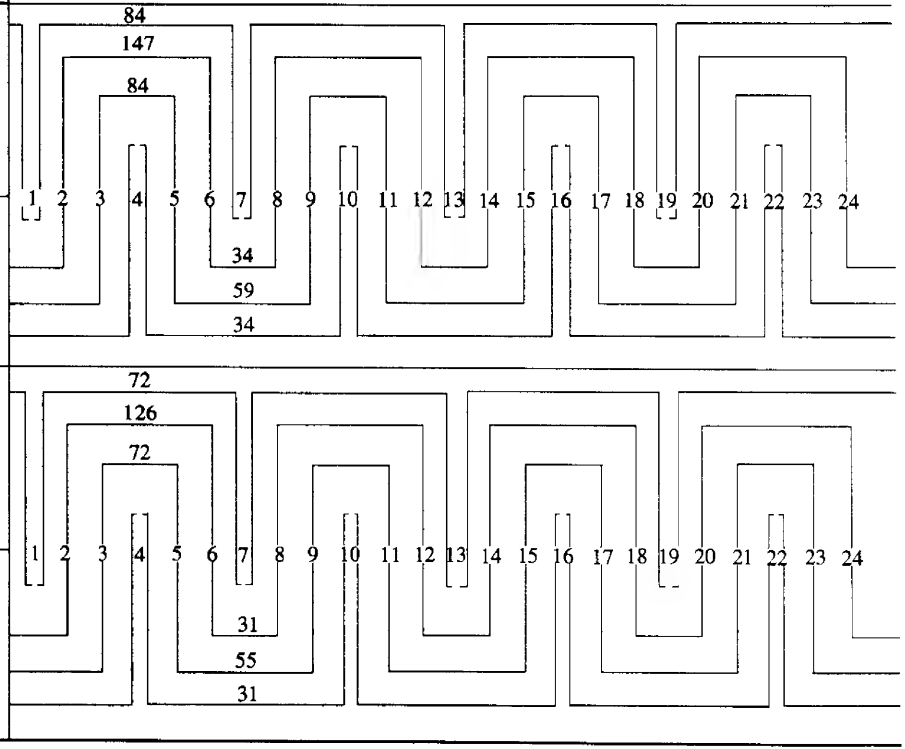
3.BO2 系列单相电阻起动异步电动机绕组的排列方法(见表 D－3)

表 D－3　　BO2 系列单相电阻起动异步电动机绕组的排列方法

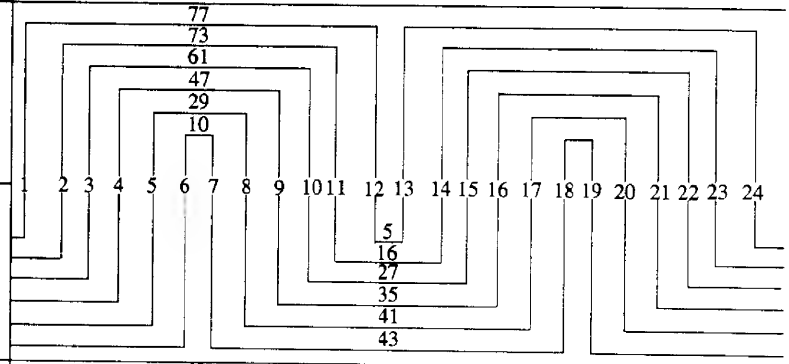
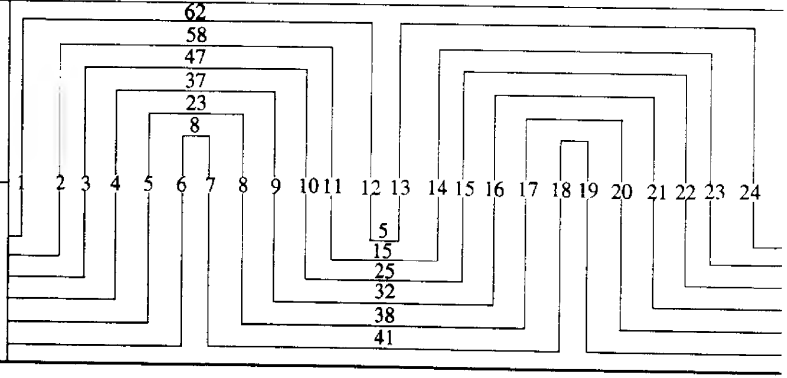
型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
BO2－6312 90W	主绕组匝数与槽节距	113 106 91 69 43 14
	副绕组匝数与槽节距	6 19 30 40 47 50
BO2－6322 120W	主绕组匝数与槽节距	93 86 74 57 35 12
	副绕组匝数与槽节距	6 18 29 38 44 47

续表

型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
BO2－6314 60W	主绕组匝数与槽节距	84 147 84
	副绕组匝数与槽节距	34 59 34
BO2－6324 90W	主绕组匝数与槽节距	72 126 72
	副绕组匝数与槽节距	31 55 31

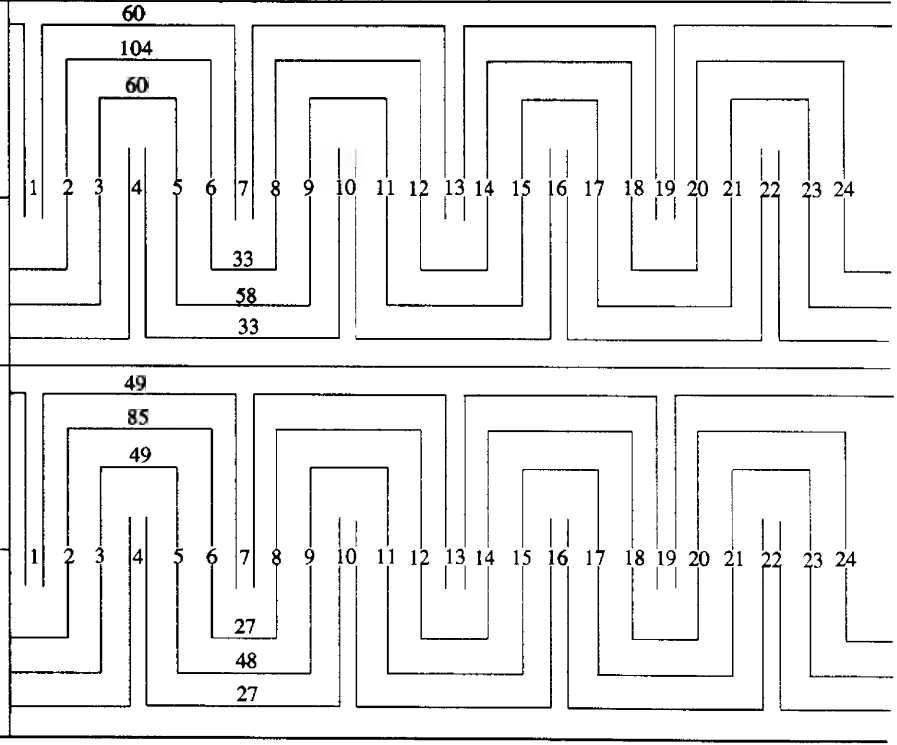


续表

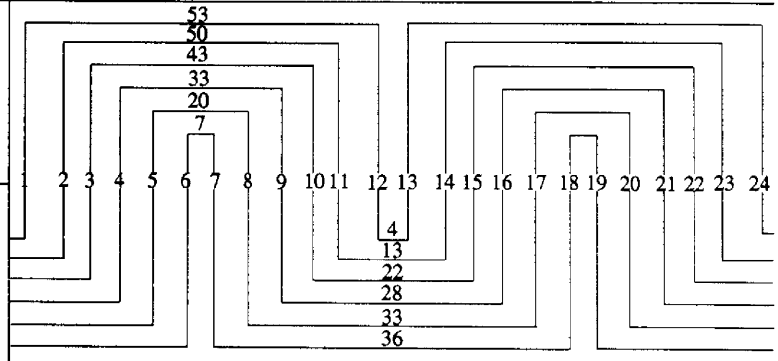
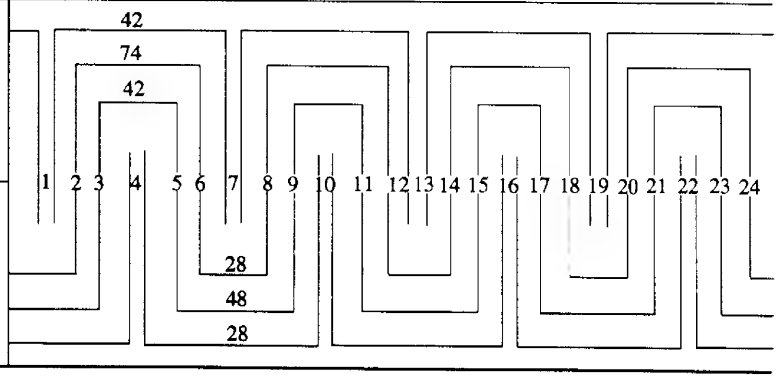
型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
BO2 - 7112 180W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	
BO2 - 7122 250W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

续表

型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
BO2－7114 120W	主绕组匝数 与槽节距	60 104 60
	副绕组匝数 与槽节距	33 58 33
BO2－7124 180W	主绕组匝数 与槽节距	49 85 49
	副绕组匝数 与槽节距	27 48 27



续表

型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
BO2－8012 370W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	
BO2－8014 250W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

续表

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
BO2－8024 370W	主绕组匝数 与槽节距	32 58 34 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
	副绕组匝数 与槽节距	24 41 24

4. CO2 系列单相电容起动异步电动机铁心及绕组的技术数据(见表 D－4)

表 D－4　　CO2 系列单相电容起动异步电动机铁心及绕组的技术数据

型号	额定功率(W)	额定电压(V)	满载时				定子铁心			气隙长度	定转子槽数 Z_1/Z_2	主绕组			副绕组			堵转电流(A)	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	电容器容量(μF)
			电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度			线规 $n-d$(根－mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)	线规 $n-d$(根－mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)				
							(mm)														
CO2－7112	180	220	1.89	2800	60	0.72	110	58	50	0.25	24/18	1－0.56	297	148.2	1－0.38	247	158.3	12	3.0	1.8	75
CO2－7122	250		2.40		64	0.74			62			1－0.63	235	160.2	1－0.47	204	170.3	15			
CO2－8012	370		3.36		65	0.77	128	67	58			1－0.71	206	170.4	1－0.53	206	182	21	2.8		100
CO2－8022	550		4.65		68	0.79			75			1－0.85	159	187.6	1－0.56	154	192	29			150
CO2－90S2	750		5.94		70	0.82	145	77	70	0.30		1－1.0	147	198.2	1－0.63	133	211.2	37	2.5		200
CO2－7114	120		1.88	1400	50	0.58	110	67	50	0.25	24/30	1－0.53	224	109.4	1－0.35	145	120.2	9	3.0		75
CO2－7124	180		2.49		53	0.62			62			1－0.60	183	121.4	1－0.38	124	132.2	12			
CO2－8014	250		3.11		58	0.63	128	77	58			1－0.71	158	126.4	1－0.47	133	139	15	2.8		100
CO2－8024	370		4.24		62	0.64			75			1－0.85	124	143.4	1－0.50	134	155.8	21	2.5		
CO2－90S4	550		5.57		65	0.69	145	87	70		36/42	1－0.95	127	144.6	1－0.60	108	157.2	29			150
CO2－90L4	750		6.77		69	0.73			90			1－1.06	96	165	1－0.63	120	177	37			

5. CO2 系列单相电容起动异步电动机绕组的排列方法(见表 D－5)

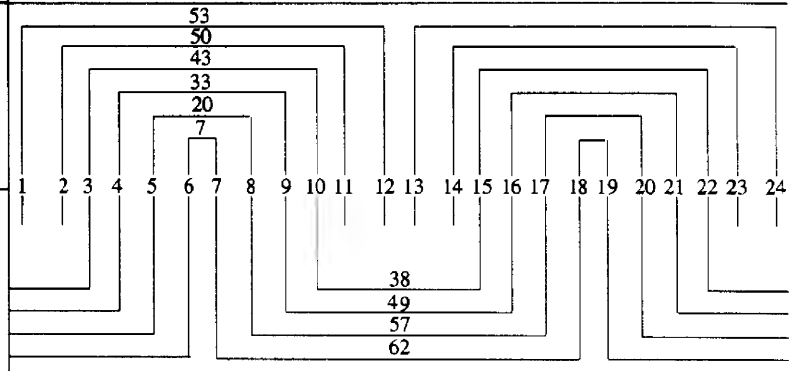
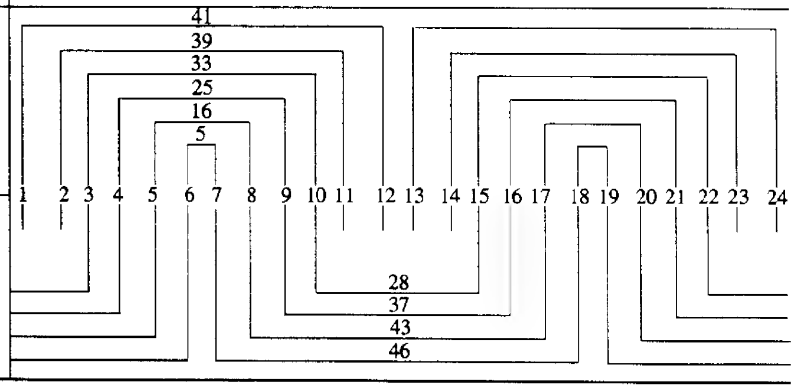
表 D－5　　CO2 系列单相电容起动异步电动机绕组的排列方法

型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
CO2-7112 180W	主绕组匝数 与槽节距	77 73 61 47 29 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
	副绕组匝数 与槽节距	45 59 69 74
CO2-7122 250W	主绕组匝数 与槽节距	62 58 47 37 23 8 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
	副绕组匝数 与槽节距	35 51 57 61

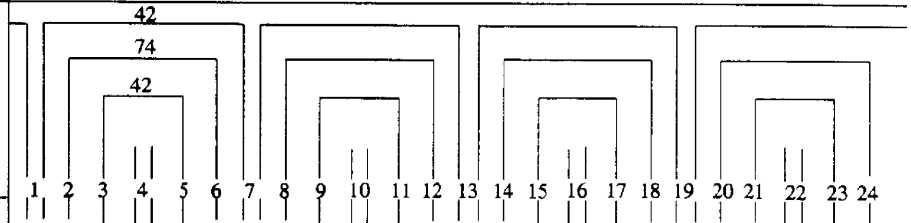
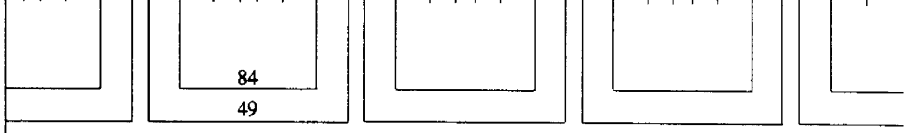
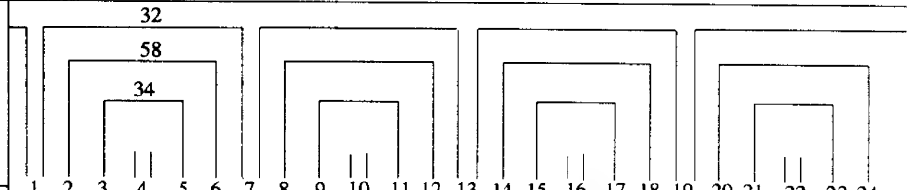
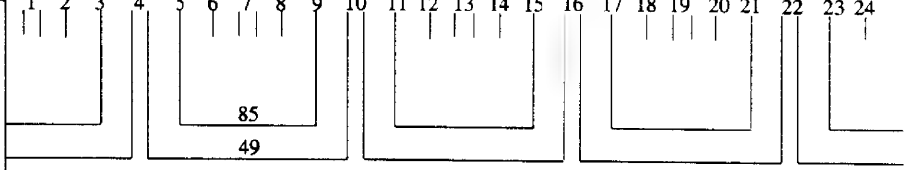
续表

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
CO2-7114 120W	主绕组匝数 与槽节距	60 104 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
	副绕组匝数 与槽节距	92 53
CO2-7124 180W	主绕组匝数 与槽节距	48 85 50 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
	副绕组匝数 与槽节距	79 45

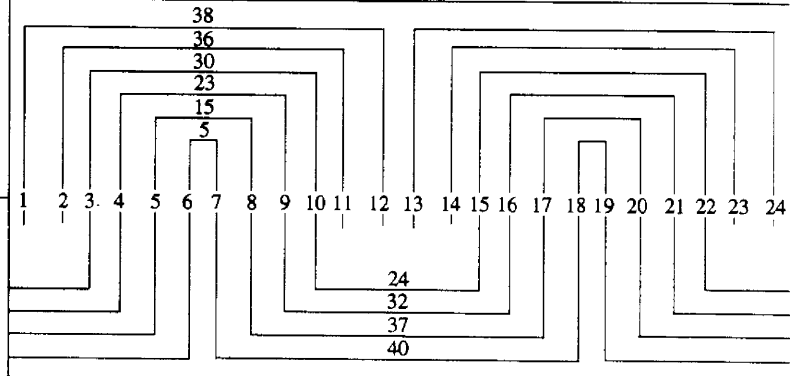
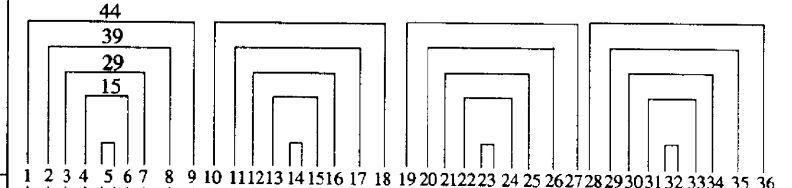
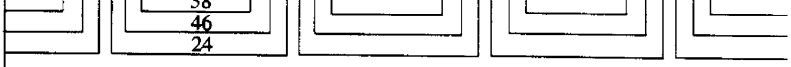
续表

型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
CO2-8012 370W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	
CO2-8022 550W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

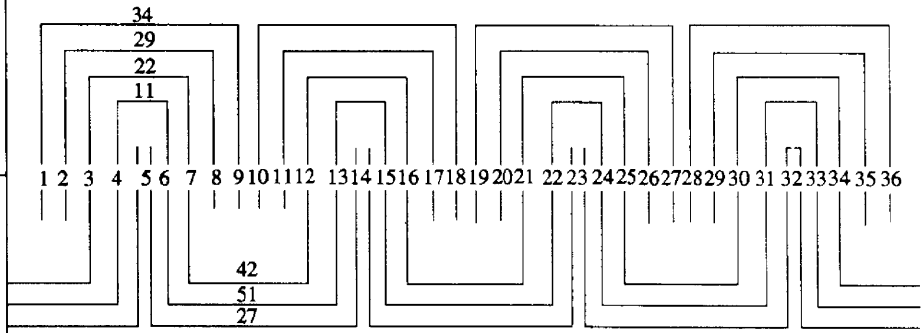
续表

型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
CO2-8014 250W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	
CO2-8024 370W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

续表

型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
CO2-90S2 750W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	
CO2-90S4 550W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

续表

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
CO2-90L4 750W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽节距	

6. DO2 系列单相电容运转异步电动机铁心及绕组的技术数据(见表 D-6)

表 D-6　　DO2 系列单相电容运转异步电动机铁心及绕组的技术数据

型号	额定功率(W)	额定电压(V)	满载时				定子铁心			气隙长度	定转子槽数 Z_1/Z_2	主绕组			副绕组			堵转电流(A)	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	电容器	
			电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度			线规 $n-d$(根-mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)	线规 $n-d$(根-mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)				容量(μF)	工作电压(V)
							(mm)															
DO2-4512	10	220	0.20	2800	28	0.80	71	38	45	0.2	12/18	1-0.18	868	106	1-0.16	971	106	0.8	0.60	1.8	1	630
DO2-4522	16		0.26		35							1-0.20	750		1-0.19	796		1.0				
DO2-5012	25		0.33		40	0.85	80	44				1-0.25	519	125.7	1-0.23	819	125.7	1.5			2	
DO2-5022	40		0.42		42	0.90							489		1-0.25	698		2.0	0.50			
DO2-5612	60		0.57		53		90	48	50		24/18	1-0.28	454	131.6	1-0.31	527	131.6	2.5			4	
DO2-5622	90		0.81		56							1-0.33	363			467		3.2	0.35			
DO2-6312	120		0.91		63	0.95	96	50	45	0.25		1-0.40	415	132		593	132	5.0				
DO2-6322	180		1.29		67				54			1-0.45	320	140.7	1-0.33	427	140.7	7.0			6	
DO2-7112	250		1.73		69		110	58	50			1-0.50	271	148.1	1-0.45	382	148.1	10			8	430
DO2-4514	6		0.20	1400	17	0.80	71	38	45	0.2	12/18	1-0.18	700	83.3	1-0.16	675	83.3	0.5	1.0		1	630
DO2-4524	10		0.26		24							1-0.20	600			620		0.8	0.60			

续表

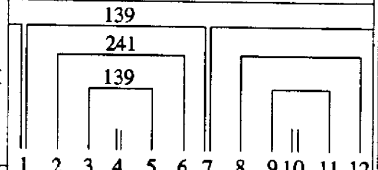
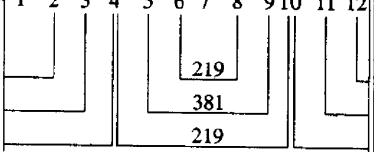
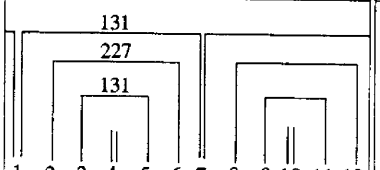
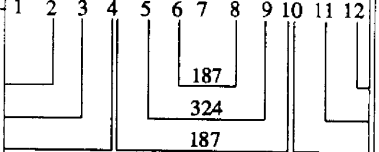
型号	额定功率(W)	额定电压(V)	满载时				定子铁心				定转子槽数 Z_1/Z_2	主绕组			副绕组			堵转电流(A)	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	电容器	
			电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙长度		线规 $n-d$(根-mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)	线规 $n-d$(根-mm)	每极匝数	平均半匝长(mm)				容量(μF)	工作电压(V)
							(mm)															
DO2-5014	16	220	0.28	1400	33	0.80	80	44	45	0.2	12/18	1-0.21	560	85.4	1-0.21	455	85.4	1.0	0.60	1.8	2	630
DO2-5024	25		0.36		38	0.82						1-0.25	436			435		1.5	0.50			
DO2-5614	40		0.49		45		90	54	50	0.25	24/18	1-0.28	356	98.7	1-0.23	508	98.7	2.0				
DO2-5624	60		0.64		50	0.85						1-0.31	348		1-0.28	339		2.5			4	
DO2-6314	90		0.94		51		96	58	45			1-0.35	302	93.7	1-0.31	374	93.7	3.2	0.35			
DO2-6324	120		1.17		55				54			1-0.40	259	106.3		365	106.3	5.0				
DO2-7114	180		1.58		59	0.88	110	67	50		24/30	1-0.42	206	109.4	1-0.38	330	109.4	7.0			6	430
DO2-7124	250		2.04		62	0.90			62			1-0.47	165	121.4	0.42	268	121.4	10			8	

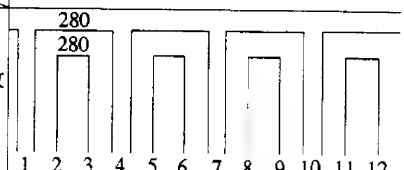
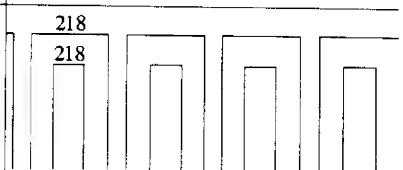
7. DO2 系列单相电容运转异步电动机绕组的排列方法(见表 D－7)

表 D－7　　DO2 系列单相电容运转异步电动机绕组的排列方法

型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
DO2－4512 10W	主绕组匝数与槽节距	434 318 116
	副绕组匝数与槽节距	130 355 486
DO2－4514 6W	主绕组匝数与槽节距	350 350
	副绕组匝数与槽节距	675
DO2－4522 16W	主绕组匝数与槽节距	375 275 100
	副绕组匝数与槽节距	107 291 398
DO2－4524 10W	主绕组匝数与槽节距	300 300
	副绕组匝数与槽节距	620

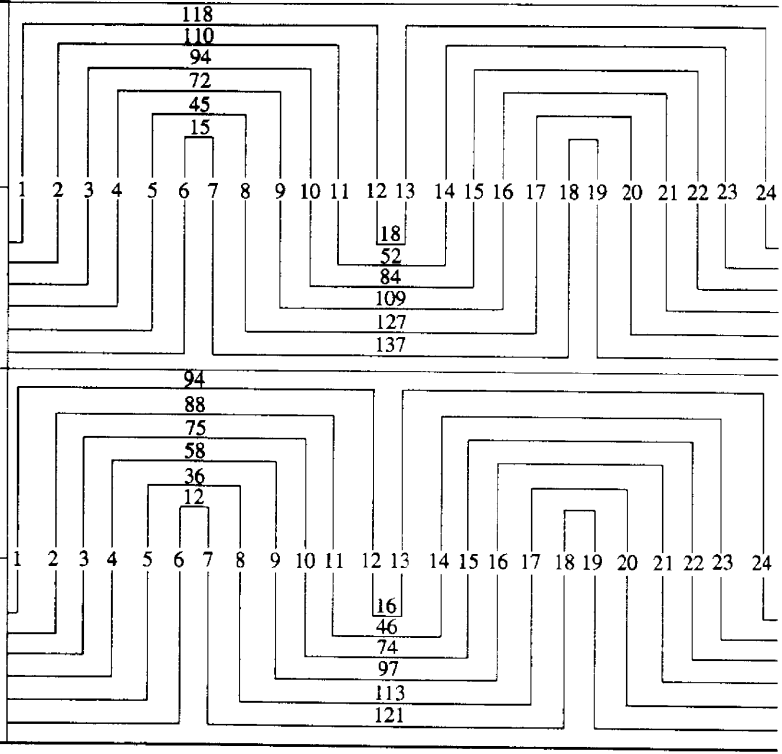
续表

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
DO2－5012 25W	主绕组匝数与槽节距	
	副绕组匝数与槽节距	
DO2－5022 40W	主绕组匝数与槽节距	
	副绕组匝数与槽节距	

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
DO2－5014 16W	主绕组匝数与槽节距	
	副绕组匝数与槽节距	
DO2－5024 25W	主绕组匝数与槽节距	
	副绕组匝数与槽节距	

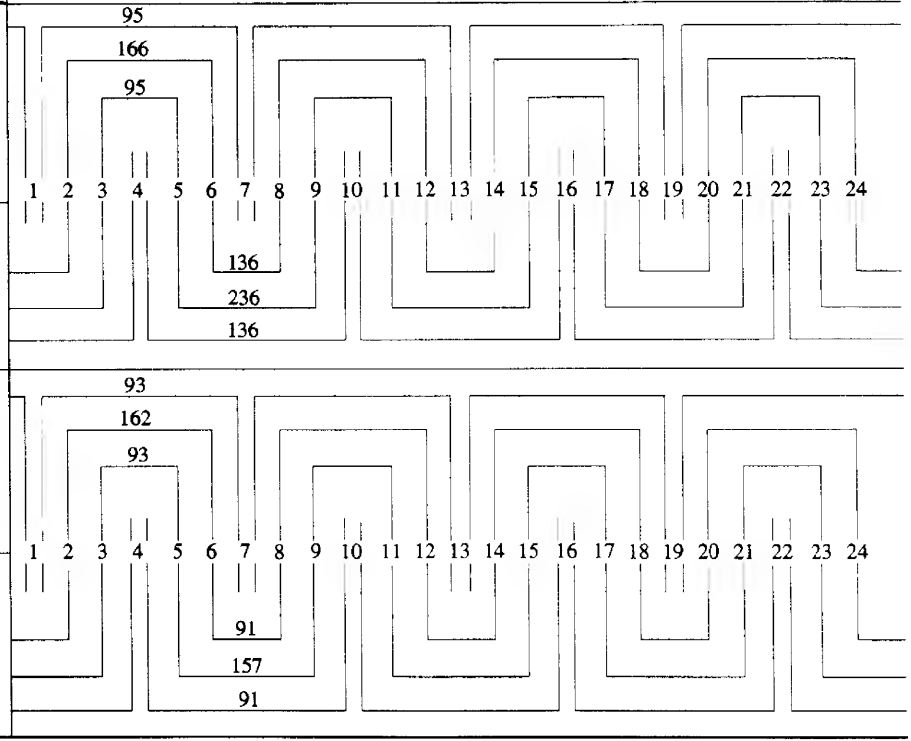
续表

型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
DO2 - 5612 60W	主绕组匝数 与槽节距	118 110 94 72 45 15
	副绕组匝数 与槽节距	18 52 84 109 127 137
DO2 - 5622 90W	主绕组匝数 与槽节距	94 88 75 58 36 12
	副绕组匝数 与槽节距	16 46 74 97 113 121

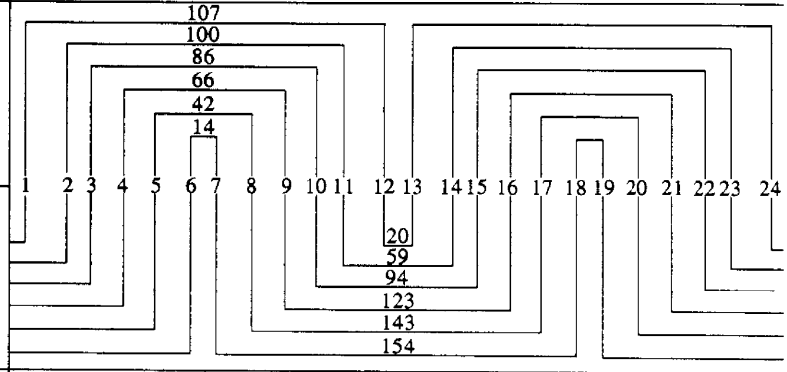
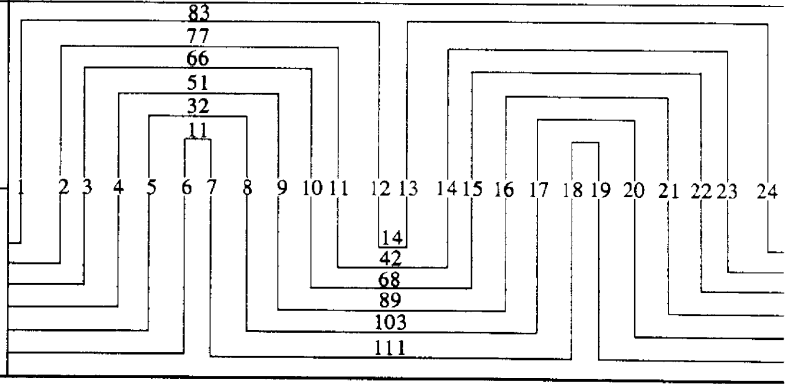


续表

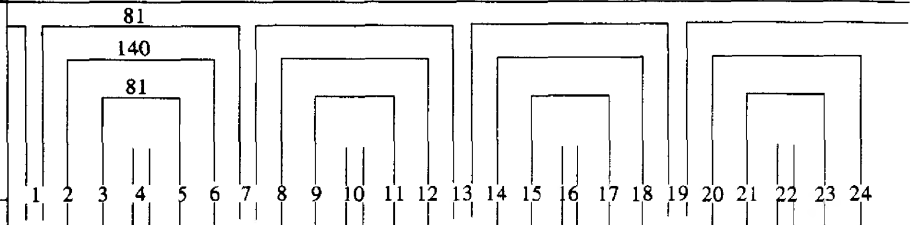
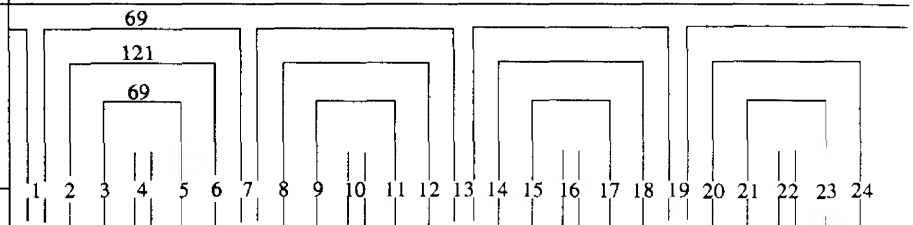
型　号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
DO2－5614 40W	主绕组匝数 与槽节距	95 166 95
	副绕组匝数 与槽节距	136 236 136
DO2－5624 60W	主绕组匝数 与槽节距	93 162 93
	副绕组匝数 与槽节距	91 157 91



续表

型号	绕组型式	正弦绕组嵌置方法
D02-6312 120W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽与距	
D02-6322 180W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽与距	

续表

型号 \ 绕组型式		正弦绕组嵌置方法
DO2-6314 90W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽与距	
DO2-6324 120W	主绕组匝数 与槽节距	
	副绕组匝数 与槽与距	

续表

型号 \ 绕组型式	正弦绕组嵌置方法
D02-7112 250W	主绕组匝数 与槽节距
	副绕组匝数 与槽与距
D02-7114 180W	主绕组匝数 与槽节距
	副绕组匝数 与槽与距

参 考 文 献

1. 李洋等编著.电动机的使用与维修.北京:人民邮电出版社,1995
2. 职业技术教育培训教材编审委员会主编.电动机修理.上海:上海科学技术出版社,1996
3. 才家刚编著.电动机使用与修理技术.北京:中国水利水电出版社,1998
4. 孙克军等编著.中小型交流电机绕组制造工艺与试验方法.北京:机械工业出版社,2000
5. 赵家礼等编著.电机修理入门.北京:机械工业出版社,2003

CEPP

相关书目

- 电机修理速查手册
- 维修电工技术问答

ISBN 7-5083-2349-1

9 787508 323497 >

ISBN 7-5083-2349-1

定价: 15.00 元

CHINA ELECTRIC POWER PRESS